

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Sistema de supervisión de herramientas mediante RFID en Industria 4.0”

Andrés Eduardo Gómez Ruggiero

Álvaro Castro Gonzalez

Madrid 2019



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

En la actualidad los sistemas de supervisión de herramientas son sistemas que se enfocan mayormente en las existencias presentes en un inventario y el momento en el que la herramienta se estropea.

La intención de la presente memoria es estudiar y describir un sistema de supervisión de herramientas mediante tecnología RFID basado en industria 4.0, enfocándose concretamente en la supervisión del tiempo de vida útil de la herramienta en relación a su tiempo de uso real.

Con lo ya mencionado se busca digitalizar un sistema de supervisión de herramientas y que este se lleve a cabo de manera autónoma, realice una cuenta de tiempo de uso precisa, que sea un sistema poco invasivo, comprobación de presencia y verificación de código de identificación de herramienta. Por último se busca que pueda ser supervisado desde el nivel supervisión, y una vez culminado el tiempo útil inhibir la marcha y mediante el uso protocolo de comunicación industrial de seguridad que la herramienta detenga su labor de forma segura.

El motivo por el cual se ha seleccionado tecnología RFID es por su sencillez, y adaptabilidad al funcionar con campos magnéticos, a diferencia de los sistemas basados en código de barras que usan actualmente, que requieren condiciones de uso más exigentes para resultados menos eficientes en esta labor.

Se realizaron pruebas para estudiar el comportamiento del sistema expuesto donde se utilizó tecnología RFID, un variador de frecuencia como herramienta a supervisar, un controlador y se simuló una pantalla HMI (Medio de interacción persona/máquina) para representar el elemento de nivel de supervisión.

Una vez realizadas las pruebas se logró demostrar que efectivamente todo lo planteado anteriormente es posible; tratamiento preciso del tiempo, poco invasivo, sistema digitalizado, seguro y en comunicación con el nivel de supervisión

Con todo esto se demostró que con un sistema totalmente digital, apegado a industria 4.0, se puede realizar una supervisión eficiente de herramientas, poder tener una variable más para realizar mantenimientos preventivos en planta, con elementos que cada vez son más comunes de encontrar en las empresas por su empleo en la gestión de inventarios.

Palabras clave: RFID tags, Automation, Remaining life assessment, Supervisory control, Industrial control, Safety

DEDICATORIA

Expreso mi agradecimiento a quienes me han brindado su apoyo durante la elaboración de este trabajo, concretamente a mi tutor de prácticas David de Francisco y compañero Ramón Quintela, además de Siemens S.A. como empresa, quienes me han ayudado a escoger el tema en cuestión y me han proporcionado tanto apoyo como conocimientos en el área y los equipos pertinentes para poder realizar las pruebas más importantes.

Fuera del ámbito laboral agradecer a mi madre Sonia Ruggiero Mouriño y hermano Martin Borges Gomez por su apoyo incondicional en todo momento a pesar de la distancia y situación de mi país, con sus palabras y ánimos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación:	2
1.2. Marco de trabajo:	3
1.2.1. Industria 4.0:	3
1.3. Siemens S.A.:.....	5
1.4. Objetivos:	5
1.5. Estructura del documento:	6
2. ESTADO DEL ARTE	8
2.1. Antecedentes de la supervisión de herramientas:	9
3. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS	10
3.1. Protocolos de comunicación industrial:	10
3.1.1. PROFINET IO (Process Field Net):	10
3.1.2. PROFIsafe:	15
3.1.3. OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture):	18
3.1.4. Protocolo seleccionado:	20
3.2. RFID (Radio Frequency Identification):	21
3.2.1. Historia de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification):	21
3.2.2. Elementos de sistema RFID:	22
3.2.3. Tipos de sistemas RFID:	23
3.3. Sistemas HMI (Human Machine Interface):	26
4. SISTEMA DESARROLLADO	28
4.1. Diseño de la solución implementada:	28
4.1.1. Alternativas de diseño:	28
4.1.2. Diseño final:	30
4.2. Secuencia de ejecución:	32
4.3. Dispositivos utilizados:	33
4.4. Protocolo de interfaz aérea RF300:	37
4.5. Normativa:	38
4.6. Desarrollo e implementación de la solución:	39
5. PRUEBA DE VALIDACIÓN Y RESULTADO DEL EXPERIMENTO	56
5.1. Secuencia de pruebas:	56
5.2. Desarrollo de prueba:	56

5.3. Resultados	61
6. CONCLUSIONES.....	63
6.1. Otras aplicaciones	64
6.1.1. Supervisión mediante UHF:	64
6.1.2. Seguridad y logística:	64
6.1.3. Geolocalización:	64
6.1.4. Obtención de Big Data:	65
7. PRESUPUESTO.....	66
8. BIBLIOGRAFIA.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Esquema sistema Cyber-físico.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 Niveles de Automatización</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3 Modelo OSI.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 Entorno físico de PROFINET a 4 hilos.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 Trama IRT</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 Topología de red</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 Sistema PROFINET con seguridad PROFIsafe</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8 Tabla de seguridad.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9 Palabra de control Telegrama 30 PROFIsafe</i>	<i>17</i>
<i>Figura 10 Palabra de estado Telegrama 30 PROFIsafe</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11 Telegrama 900 PROFIsafe.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12 Arquitectura OPC.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13 Conexión con servido OPC UA.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 14 Historia de sistemas RFID</i>	<i>22</i>
<i>Figura 15 Arquitectura RFID LF y HF.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 16 Arquitectura RFID UHF</i>	<i>25</i>
<i>Figura 17 Estructura Tags RFID</i>	<i>26</i>
<i>Figura 18 Esquema de conexión</i>	<i>31</i>
<i>Figura 19 Esquema de secuencia de programa</i>	<i>32</i>
<i>Figura 20 Controlador S7-1214FC DC/DC/DC.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 21 Modulo de comunicación RF120C.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 22 Lector RFID HF RF350R.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23 Antena externa ANT12</i>	<i>35</i>
<i>Figura 24 Tag MDS D421 A</i>	<i>35</i>
<i>Figura 25 Cable PROFINET.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 26 Cable de comunicación RS422.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 27 Variador de frecuencia Sinamics G120</i>	<i>36</i>
<i>Figura 28 Simatic Field PG</i>	<i>37</i>
<i>Figura 29 configuración modulo RF120C</i>	<i>40</i>
<i>Figura 30 Configuración de comunicación PN</i>	<i>40</i>
<i>Figura 31 Habilitación seguridad PLC</i>	<i>41</i>
<i>Figura 32 Telegrama estándar y telegrama de seguridad en el G120</i>	<i>41</i>
<i>Figura 33 Inicialización, Lectura y Escritura.....</i>	<i>42</i>

<i>Figura 34 Mapa de memoria de tags MDS Dxxx.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 35 Comparación UID.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 36 Bloques de función de alarma y tiempo</i>	<i>45</i>
<i>Figura 37 Estructura de tiempos.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 38 Networks en el OB Main.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 39 Resta segundos</i>	<i>46</i>
<i>Figura 40 Resta segundos resto de segmento</i>	<i>47</i>
<i>Figura 41 Gestión de información</i>	<i>48</i>
<i>Figura 42 Órdenes de escritura y lectura</i>	<i>48</i>
<i>Figura 43 Condición aviso tiempo crítico alcanzado</i>	<i>49</i>
<i>Figura 44 Condición tiempo de vida útil agotado</i>	<i>49</i>
<i>Figura 45 Condición de trabajo normal</i>	<i>49</i>
<i>Figura 46 Plantilla.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 47 Ventana de inicio.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 48 Ventana de herramientas.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 49 Ventana de control y estado</i>	<i>52</i>
<i>Figura 50 Ventana de tiempos.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 51 Tabla de observación para escritura</i>	<i>54</i>
<i>Figura 52 Tabla de observación y forzado de pruebas.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 53 Placa de motor</i>	<i>56</i>
<i>Figura 54 Motor de inducción</i>	<i>57</i>
<i>Figura 55 Vista de red.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 56 Bloque para control de velocidad del variador de frecuencia.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 57 Falta de presencia</i>	<i>60</i>
<i>Figura 58 Avisos de finalización de tiempo de vida útil</i>	<i>61</i>

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1. Lectura nombre herramienta</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 2. Lectura tiempo de vida útil de la herramienta.....</i>	<i>59</i>

1. INTRODUCCIÓN

En estos momentos el mundo está atravesando la cuarta revolución industrial, donde se ha establecido como objetivo la digitalización de fábricas con la finalidad de tener industrias inteligentes, donde la mano de obra humana se vea reducida de manera significativa [1].

Hoy en día para alcanzar esta meta se han desarrollado nuevos protocolos de comunicación industrial como PROFINET, asociaciones como OPC UA (OPC Unified Architecture), desarrollo de software buscando un solo entorno donde se puedan trabajar con distintas plataformas [2]. Con esto se logra una mejora en el funcionamiento de plantas al tener medios de transmisión de datos más rápidos y óptimos para las tareas a desempeñar, además de también permitir la interconexión de distintos fabricantes y gestión de Big Data.

Big Data es uno de los pilares de la cuarta revolución industrial, ya que al tener como objetivo la digitalización del sector industrial, es necesario la trata de información que se obtiene y se envía a los transductores y actuadores de la planta, además de de tener casos como fábricas de compañías multinacionales, que al tener distintas sedes en diferentes regiones, para le eficiencia en la ejecución de tareas es necesario disponer de un intercambio de grandes cantidades de datos tanto del proceso de producción como de los elementos necesarios para llevar a cabo todas las tareas pertinentes en la compañía [3].

Otra parte importante de la Industria 4.0, más allá del funcionamiento de máquinas en planta y transmisión de datos, es la gestión de materiales, inventarios, trazabilidad, costes, entre otros, de manera automatizada. En un principio todo esto se realizaba de manera manual y con el tiempo se llegó a sistemas que bien cumplían con su cometido pero de manera no tan efectiva como el uso de códigos de barra, método todavía utilizado hoy día para la trazabilidad de material. Los métodos como el antes mencionado presentan limitantes como el almacenamiento de información limitado, menor velocidad al tener condiciones de reconocimiento del material. Por último no permitía una supervisión constante de la ubicación del material una vez almacenado el mismo.

Actualmente se ha optado por la implementación de sistemas RFID (Radio Frequency Identification) como sistema de trazabilidad avanzado ya que permite entre otros, almacenar información en cada producto mediante un transpondedor, mayor rango de lectura, posibilidad de supervisión de localización de las existencias si se configura para este fin y en general mayor versatilidad y adaptabilidad a diversos sistemas [4].

Uno de los mayores problemas que se pueden encontrar en una fábrica es el paro de la misma de forma inesperada por malfuncionamiento de máquinas debido a la supervisión poco precisa que reciben las herramientas, al no llevar una cuenta de su

tiempo de vida útil o una cuenta llevada de forma poco precisa por software o por personas. Otro inconveniente que se puede presentar, no menos importante que el anterior, es el aumento de costes por desaprovechar la vida de la máquina al llevar la cuenta por días de operación y no por tiempo operativo, lo que lleva a un cambio de herramienta antes de haber culminado su ciclo de vida.

Este proyecto se realizó con la ayuda de la empresa Siemens S.A., empresa pionera en el desarrollo de tecnología de punta en diversos sectores que ha ayudado en gran parte con el crecimiento de Industria 4.0, y quienes proporcionaron el material necesario para la realización de las pruebas pertinentes para el desarrollo de este proyecto.

Al ser una empresa multinacional pionera en industria 4.0, además de contar con tecnología de punta para la automatización, también se contó con gran cantidad de material bibliográfico para el desarrollo del sistema, además de información que ha contribuido al desarrollo teórico de la presente memoria.

1.1. Motivación:

Hoy en día, al encontrarnos en la 4ta revolución industrial, donde se busca la digitalización de las fábricas, descentralización de sistemas, precisión en los trabajos, y mayor autosuficiencia de las máquinas, se planteó como objetivo que así como los sistemas de inventarios y trazabilidad se realizan mayormente con tecnología RFID, aprovechar los tags que identifican a cada herramienta de trabajo de robots para agregar el tiempo de vida útil de la herramienta.

Lo que se quiere conseguir al agregar este dato es que, al aprovechar la memoria de usuario del tag, realizar un programa mediante el cual, usando el tiempo de vida útil de la herramienta, cuando la misma se encuentre en el robot y se esté utilizando, descontar este tiempo de uso del tiempo de vida útil de la misma. Con esto se consiguen dos resultados de mucho interés:

Tener una supervisión en tiempo real del tiempo de uso de la herramienta: con esto se consigue optimizar de manera significativa el tiempo de uso del instrumento al poder utilizarla con mayor exactitud todo el tiempo de vida, sin desecharla previamente, además de poder planificar mantenimientos preventivos en el momento indicado. También se evitarían malos funcionamientos y paradas de sistemas no planificadas por deterioro excesivo de la herramienta.

Se puede aprovechar la tecnología RFID como herramienta de seguridad. Con esto se puede crear una aplicación dentro del programa de la máquina donde la misma funcione cuando detecte presencia de la herramienta que se espera usar, en caso contrario la máquina no arranca.

Otro motivo por el cual se recurre a sistemas RFID es su característica no invasiva en fábrica. Con esto se quiere decir que no es necesario ni de un cableado complejo, ni la intervención de un operario en medio de procesos para registrar mediante alguna otra tecnológica el material de la empresa y por último la cualidad de poner ser gestionado

por protocolos industriales tales como PROFINET IO u OPC UA para facilitar la gestión de datos en tiempos muy cortos. Esto permite que cualquiera de las operaciones antes mencionadas que puede realizar un sistema RFID con mucha rapidez reduciendo los tiempos de realización de diversas tareas, pudiendo invertirlo en otras que necesiten mayor atención.

En resumen, estos sistemas pueden realizar diversas funciones con la implementación de un solo dispositivo.

1.2. Marco de trabajo:

1.2.1. Industria 4.0:

Industria 4.0 es como se denomina a la cuarta revolución industrial por la cual está atravesando la humanidad en estos momentos. Este gran cambio se está enfocando en lo que se denomina como “Digitalización”, proceso por el cual se busca que las industrias se vuelvan autónomas mediante la implementación de robots y máquinas inteligentes, sensores, comunicaciones rápidas, robustas y estables, y una gestión de los datos de manera global, buscando de esta manera un mayor margen de ganancia en las empresas, reducción de tiempos de producción, mejor gestión de procesos mediante el manejo de datos y por consecuencia de esto una notable reducción en la mano de obra humana [5].

Para poder lograr estos acometidos, hoy día se manejan diversos conceptos como lo son:

- **Sistema Cyber-Físico (CPS):**

Es un mecanismo (sistema físico) controlado o monitoreado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con internet. En los sistemas ciber-físicos, los componentes físicos y de software están profundamente entrelazados, donde cada elemento opera en diferentes escalas espaciales y temporales, exhibiendo múltiples comportamientos, e interaccionando entre ellos de innumerables formas que cambian con el contexto [6].

Esto permite que mediante redes, sistemas de alimentación ininterrumpida, sistemas redundantes, control centralizado o descentralizado, sensores, máquinas inteligentes, RFID, protocolos de comunicación, ciberseguridad y programación safety, una planta de producción o incluso una vivienda u hotel puedan funcionar de manera autónoma, sin la intervención constante de personas.



Figura 1 Esquema sistema Cyber-físico

Diego Benitez, Disponible en;

<https://es.slideshare.net/reducuador/sistemas-inteligentes-de-sensado-diego-benitez>

- **Big Data:**

Hace referencia a conjuntos de datos tan grandes y complejos como para que aplicaciones informáticas tradicionales de procesamiento de datos puedan tratarlos adecuadamente. Por ende, los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos datos son más sofisticados y requieren software especializado.

El uso moderno del término "Big Data" tiende a referirse al análisis del comportamiento del usuario, extrayendo valor de los datos almacenados, y formulando predicciones a través de los patrones observados. La disciplina dedicada a los datos masivos se enmarca en el sector de las tecnologías de la información y la comunicación.

Esta disciplina se ocupa de todas las actividades relacionadas con los sistemas que manipulan grandes conjuntos de datos. Las dificultades más habituales vinculadas a la gestión de estas cantidades de datos se centran en la recolección y el almacenamiento, búsqueda, compartición, análisis, y visualización. La tendencia a manipular enormes cantidades de datos se debe a la necesidad, en muchos casos, de incluir dicha información para la creación de informes estadísticos y modelos predictivos utilizados en diversas materias, como los análisis de negocio, publicitarios, los datos de enfermedades infecciosas, el espionaje y seguimiento a la población o la lucha contra el crimen organizado [7].

1.3. Siemens S.A.:

Siemens S.A. es una empresa alemana fundada el 12 de Octubre de 1847 por Werner von Siemens y Johann Georg Halske, que hoy en día se dedica principalmente a la automatización de gran variedad de sectores como pueden ser el sector de automóvil, healthcare, edificios, ferrocarril, etc. Entre las tantas divisiones que conforman esta compañía, el presente trabajo de fin de grado fue realizado dentro de la división RC-ES DI CS SD TR&TS donde se realizaron todas las pruebas en colaboración con el departamento RC-ES DI PA PP-IID, quienes proporcionaron todo el material concerniente al sistema RFID y comunicaciones.

El departamento RC-ES DI CS SD TR&TS, hasta el área CS es “Customer Support” donde se da todo el apoyo que necesite el cliente desde reparaciones, hasta retrofits (Actualización de equipos físicos en instalaciones antiguas). Concretamente el departamento donde se realizaron las pruebas fue TS (Technical Support), con el equipo SD (Soporte técnico a distancia o en campo sobre variadores de frecuencia y funciones de Motion Control), donde se dispuso de PLC, variador de frecuencia, cables, y gracias a RC-ES DI PA PP-IID, encargado de la promoción y ventas de equipos, más concretamente equipos de identificación, contamos con el lector RFID, módulo de comunicaciones y tags.

1.4. Objetivos:

Los objetivos que se buscan alcanzar con este trabajo son:

- La supervisión de herramientas sin necesidad de la intervención de mano de obra humana, es decir, a excepción del montaje y traslado de la herramienta, el contaje del tiempo de uso se realice de forma automática y de avisos ya programados.
- Poder tener un indicador fiable de cuando es necesario realizar un mantenimiento preventivo en la fábrica, al realizar una cuenta lo más realista posible del tiempo de uso y aprovechar al máximo el rendimiento de la herramienta
- Centralizar el sistema de supervisión mediante el uso de un controlador. Con esto se busca que con el mismo controlador que dirija algún proceso, al mismo tiempo realice la labor de controlador del sistema de supervisión.
- Poder implementar sistemas de seguridad mediante protocolo de comunicaciones PROFIsafe, de modo que la respuesta sea más rápida, disminuir la cantidad de hardware y poder programar más eficientemente cuando debe actuar la seguridad.
- Tiempos de reacción mínimos. Este punto se refiere a que los avisos se puedan producir en tiempo real sobre la marcha y que en caso de que la herramienta agote su tiempo, inmediatamente intervenga la función de seguridad.

- Obtener una maniobra lo menos invasiva posible en planta al colocar un dispositivo de dimensiones pequeñas (antena RFID) de modo que no estorbe con la maniobra de la herramienta y no estorbe en la planta.
- Versatilidad e interoperabilidad con dispositivos de distintos fabricantes.

1.5. Estructura del documento:

A lo largo de esta memoria se explicará que es la cuarta revolución industrial, sus principales componentes que al mismo tiempo están involucrados directamente con el desarrollo de este trabajo. Estos componentes son los sistemas de identificación por radiofrecuencia, aplicaciones, tipos y principales características y por último como al juntar la industrial 4.0 y los sistemas RFID se puede lograr un supervisión de herramientas óptima y totalmente digitalizada, teniendo en los últimos capítulos la explicación del experimento realizado, resultados y conclusiones.

Las secciones que contendrá esta memoria para su desarrollo son:

1. Introducción

En esta sección se da a conocer la motivación por la cual se realiza el trabajo de fin de grado, se explica brevemente el concepto de Industria 4.0 así como los componentes que afectan directamente tanto al proyecto como a otras aplicaciones explicadas en el capítulo 6.

Adicionalmente se exponen los objetivos a alcanzar y se da una breve descripción de la empresa que ha aportado el material necesario para realizar las pruebas pertinentes.

2. Estado de arte

Se exponen los antecedentes tanto de supervisión de herramientas como de los sistemas RFID, así como comentar trabajos que se han realizado sobre temáticas similares al presente proyecto, o con implementación de técnicas similares para otros fines, con la finalidad de dar idea del entorno en el que nos encontramos hoy día.

3. Tecnologías utilizadas

Se explican las diversas tecnologías a utilizar, sin entrar en detalle de los dispositivos implementando en la práctica. Se hace un recorrido desde protocolos de comunicación industrial relevantes como sistemas RFID y HMI.

4. Sistema desarrollado

Capítulo donde se presentan y exponen los diseños iniciales y motivos por los cuales no se escogieron, y diseño final.

Adicionalmente se explica cual es la secuencia de ejecución que sigue el sistema de supervisión, normativa de los sistemas RFID y solución obtenida explicando paso a paso como se elaboró el programa de supervisión.

5. Prueba de validación y resultado del experimento

Se explica paso a paso en que consistió la prueba realizada para validar este modelo, involucrando todos los sistemas (RFID, HMI, seguridad, PLC).

6. Conclusiones

Se exponen las conclusiones obtenidas a partir de los resultados presentados en el capítulo anterior y a partir de esto como se podrían desarrollar otras aplicaciones o ampliar este mismo sistema mediante el uso de otras tecnologías, variantes, o protocolos de comunicación.

7. Presupuesto

En esta última sección se muestra en una tabla el presupuesto del coste que ha implicado la realización de este sistema, donde se divide en costes de personal y de material, haciendo el desglose de cada elemento y mostrando por último el precio total final.

2. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad el uso del RFID se ha incrementado como parte fundamental para las fábricas inteligentes que se están desarrollando durante la cuarta revolución industrial.

Con el paso del tiempo esta tecnología se ha desarrollado alcanzando la diferenciación en el alcance de lectura, añadir memoria a los transpondedores y por último poder integrarlo en fábricas como dispositivos programables. Con esto el avance fue orientándose a la identificación y organización de información para la obtención de inventarios, seguido de gestión de los mismos, seguimientos, etc.

Uno de los mecanismos más usados para la identificación de objetos es la lectura por códigos de barra. La desventaja que tiene este método y por el cual se recurre al RFID es la necesidad de tener que encontrar el código de barras en una posición determinada para la lectura del mismo, además de tener que encontrarse en un sitio con buena iluminación para la captación de la imagen, y por otro lado no tiene una memoria que permita almacenar información. En el caso del RFID, al transferir información mediante campos magnéticos, no presenta estas desventajas.

Actualmente se podría decir que no existe un único uso para estos sistemas, ya que como describe Guillem Casas Schmit, esta tecnología se ha utilizado para poder tener un control sobre los pacientes que se encuentran en hospitales, de modo que se pueda saber la identidad del paciente, datos del mismo, posición dentro del edificio. Adicional a las personas también se puede realizar una supervisión de los activos dentro del propio hospital ayudando con la logística el mismo y poder prevenir algún fallo, todo esto con la información que se desee almacenar en el tag. [8]

En el caso del hospital la tecnología a implementar es RFID UHF debido a que se necesita tener un rango de lectura considerable para poder captar personas en movimiento o para poder contemplar distintas máquinas en una misma habitación.

En el caso de la supervisión de herramientas en industria 4.0, el uso es similar en muchos aspectos al del caso del hospital ya que conviene tener un inventario de los activos de la fábrica, gestión, y localización de los mismos. La diferencia más significativa es que, aprovechando la ventaja de la alta versatilidad del RFID, para poder realizar una supervisión óptima de cada herramienta durante su uso de manera individual, lo ideal será utilizar tags HF (High Frequency) por su corto alcance evitando así la colisión de señales y lectura errónea. Si se quisiera implementar tecnología UHF (Ultra High Frequency) se tendrían que realizar las adaptaciones pertinentes para evitar interferencias en el campo magnético.

Un paso más allá para acercarnos a alguno de los objetivos planteados, es lograr supervisar las herramientas por reconocimiento de código interno escrito en el tag, de modo que no se pueda usar una herramienta errónea y además grabar otros datos como el tiempo de vida útil de la misma de modo que una vez finalizado se bloquee la

máquina hasta que se cambie la herramienta. En el proyecto de Matthias Lampe Martin Strassner, “The Potential of RFID for Moveable Asset Management”, en la sección 3.2 The Smart Toolbox, explica como ellos realizar una funcionalidad de supervisión de su kit de herramientas muy similar en algunos puntos a lo que se pretende alcanzar en este trabajo de fin de grado. [9]

Por último otra de las ventajas que se han logrado desarrollar hoy día con el uso del RFID es el alcance que permite para la supervisión de equipos en áreas donde un operario corre alto riesgo de daño, como hornos, ambientes explosivos, o lugares de difícil acceso. De modo similar a lo que se expone en el artículo de Ecom System, es conveniente el uso de RFID ya que más allá del tipo de tecnología LF, HF o UHF, el mismo permite la supervisión de herramientas durante su trabajo independientemente del sitio en el que se encuentre ubicada la máquina, lo que importará en este escenario es que se reduce considerablemente el riesgo de daño al operario al poder supervisar el uso de la herramienta desde una sala de control. [10]

2.1. Antecedentes de la supervisión de herramientas:

Desde que se comenzó a emplear el uso de robots en la tercera revolución industrial, los mismos han tenido que emplear diversas herramientas para cumplir con su función. El inconveniente de esto es que no se ha definido un método de supervisión de la herramienta que permita saber con gran precisión si la herramienta está cerca de finalizar su ciclo de vida, o si ya lo ha excedido. Para este inconveniente lo que se ha empleado son programas que van llevando la cuenta por jornada laboral donde prácticamente el tiempo de uso va a cuenta de días y no de horas, por no mencionar una precisión de minutos inclusive.

Esto trajo como consecuencia numerosos accidentes, desaprovechamiento de herramientas al ser sustituidas sin haber alcanzado su tiempo de uso y pérdidas tanto en material como económicas.

En la última década lo que se busca es que las herramientas que disponen de algún sistema de control o lógica, lleven esta cuenta de manera interna y cuando ya se ha alcanzado el fin de su vida muestren una señal de alarma/fallo que indique que es necesario realizar mantenimiento o el reemplazo de la misma. Esto ha sido un método muy útil pero que sin embargo excluye a aquellos instrumentos que carezcan de estas características, como podría ser un taladro o un destornillador.

3. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

3.1. Protocolos de comunicación industrial:

Los protocolos de comunicación industrial son un conjunto de reglas definidas que permiten establecer comunicación entre 2 o más equipos/sistemas para que puedan interactuar entre sí, buscando en industria 4.0 la independencia del sistema al tener una comunicación completa entre todos los sistemas de planta en los 3 niveles de la automatización.

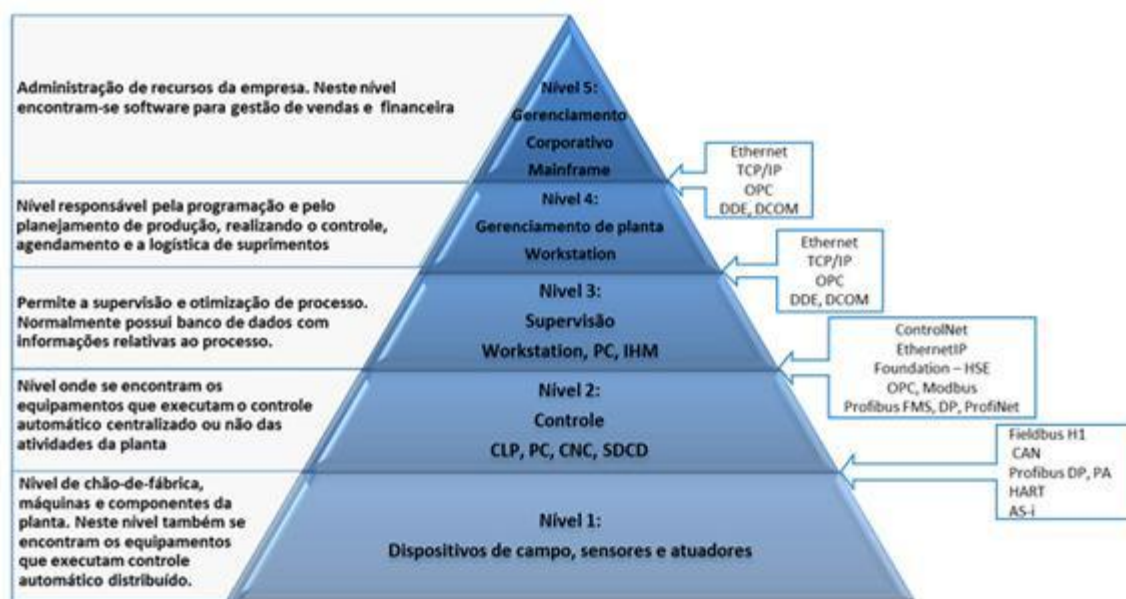


Figura 2 Niveles de Automatización

Cassiolo César (2019), Disponible en:

<http://www.unipiloto.edu.co/descargas/publicaciones/COMOCITARIMAGENES2016.pdf>

Entre los protocolos de comunicación industrial disponibles actualmente, 2 de los más importantes hoy día son:

3.1.1. PROFINET IO (Process Field Net):

Es un estándar técnico industrial basado en la capa 2 del modelo OSI (Capa de enlace de datos) que se basa en la comunicación mediante Ethernet Industrial, diseñado para la recolección de datos y control de equipos industriales.

A diferencia de PROFIBUS este es un protocolo que funciona como Servidor-Cliente (El servidor provee y el cliente demanda información). Esto permite definir diversas topologías y una comunicación con los niveles superiores de automatización, permitiendo así comunicar con servidores, nubes, centros de gestión, SCADAS, y más, con el mismo estándar de comunicaciones. [11]

El proceso que sigue este protocolo para establecer comunicaciones se ve definido por el modelo OSI como se muestra en la Figura 3, donde las capas más importantes aquí serán:

- **Capa 1 (Entorno Físico):** Conector del cable, material y configuración.
- **Capa 2 (Enlace de datos):** se encarga del direccionamiento físico, donde se contempla la MAC del equipo (Identificador único de cada dispositivo) y donde mediante protocolo ARP (Address Resolution Protocol) los equipos saben que dirección de IP tienen el resto.

Con este estándar se asigna un nombre al dispositivo que va vinculado a la MAC del mismo para así poder establecer la comunicación correspondiente.

- **Capa 3 (Red):** Capa donde se establece el enrutamiento entre redes donde se contempla la dirección IP que se le asigna a cada dispositivo. La principal función que tiene es hacer llegar los paquetes de información desde el dispositivo de destino al final independientemente de que hayan dispositivos intermediarios.

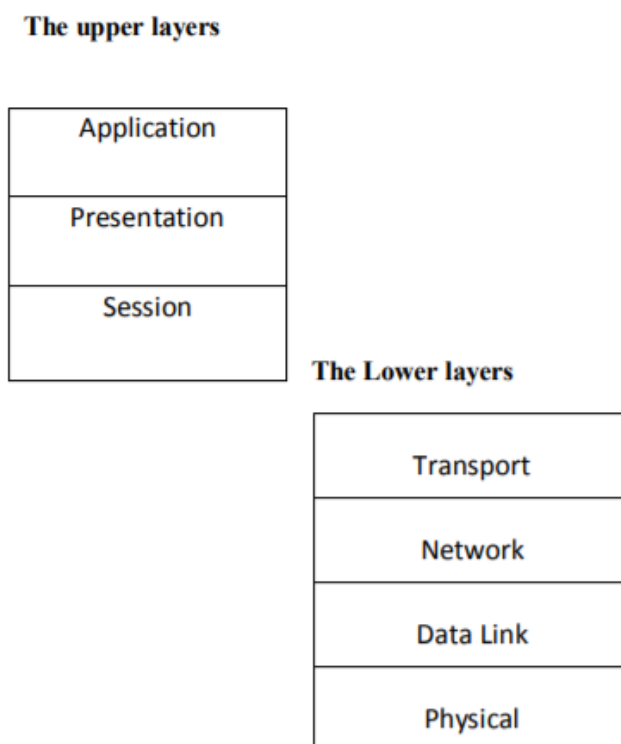


Figura 3 Modelo OSI

Gaurav Bora , Saurabh Bora , Shivendra Singh, Sheikh Mohamad Arsalan (2014), Disponible en:
<http://www.ijcttjournal.org/Volume7/number-4/IJCTT-V7P151.pdf>

El tiempo de transferencia de datos por ciclo de ejecución que puede ofrecer este protocolo puede ser de 10ms en RT (Real Time) y hasta 1ms en IRT (Isochronous Real Time), ofreciendo este último mayor determinismo para las aplicaciones.

Dependiendo del conector RJ45 e hilos que se utilice también puedes conseguir una tasa de transmisión de datos de:

- 4 hilos: 100mbps
- 8 hilos: 1000mbps

La constitución del cable es bastante similar a la de uno PROFIBUS, teniendo una funda interior, una segunda funda muy delgada, una malla metálica para evitar ruido electromagnético y una funda exterior verde [11].

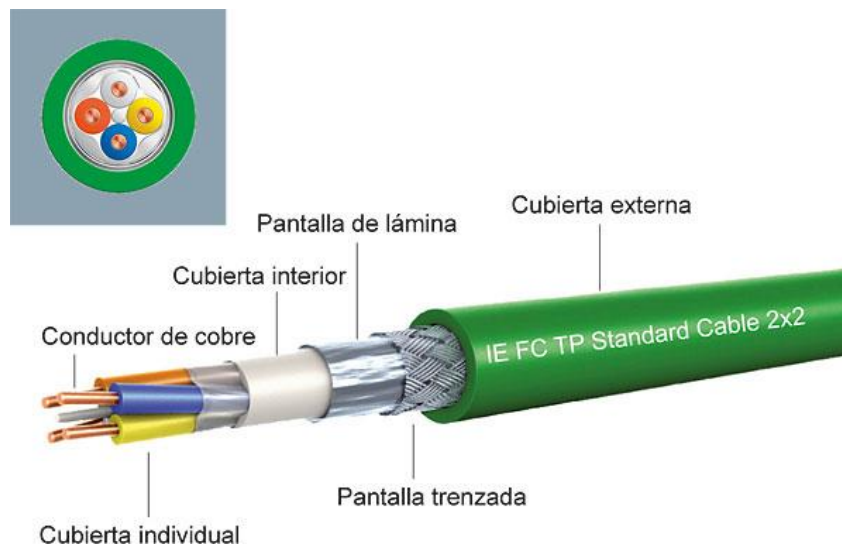


Figura 4 Entorno físico de PROFINET a 4 hilos

Disponible en: <https://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/ie/sistema-de-cableado/fc-cable-2x2/pages/fc-cable-2x2.aspx>

Existen 3 funcionalidades de protocolo que se pueden implementar en función del tiempo de transmisión que se desee:

Funcionalidades de PROFINET:

- **TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol):**

No se tiene ningún requerimiento en cuanto a la velocidad de ejecución, normalmente usado para la puesta en marcha en plantas. Los tiempos son de 100ms.

- **RT (Real time):**

Funcionalidad usada comúnmente con protocolo PROFINET que ofrece tiempos de hasta 10ms.

Aquí consigue obtener proceso de datos y alarmas en tiempo real, basado en IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*), ocurriendo esto dentro de un ciclo del bus.

RT es tratado con mayor prioridad que en el caso TCP/IP.

- **IRT (Isochronous Real Time):**

Es un protocolo sincronizado para intercambio de datos cíclico entre dispositivos PROFINET. Funciona reservando un ancho de banda para la transmisión de datos dentro del ciclo de reloj del autómatas. Este ancho de banda se asegura de que los datos de IRT puedan ser transferidos en intervalos sincronizados reservados, sin ser influenciados por otras cargas de red grandes que pueden venir por equipos que comuniquen en TCP/IP y/o RT.

Con esto se consigue mayor determinismo ya que por un lado tenemos tiempos de transmisión de datos de hasta $32\mu s$, y por otro se reserva una parte de las comunicaciones para que independientemente de lo que exista en la red, no se demore la transmisión de datos. Esto es especialmente importante para aplicaciones en lazo cerrado, como es el caso de aplicaciones de posicionamiento que realizan variadores de frecuencia con motores síncrono donde se necesita alta precisión en intervalos de tiempo muy bajos, por lo que la información del encoder (Elemento que cierra el lazo), debe llegar al controlador y ser procesada rápidamente.

Es importante que en la topología de línea los dispositivos que funcionen mediante IRT se encuentren de primeros y ya seguido los que comuniquen por RT y TCP/IP.

A fines de la supervisión de herramientas mediante el uso de RFID, este protocolo no es de gran utilidad ya que aquí no se necesita mayor determinismo, ya que lo necesario aquí es tener una comunicación cíclica que pueda supervisar la presencia de la herramienta constantemente, donde con tiempos de actualización de 10ms sobra [11].

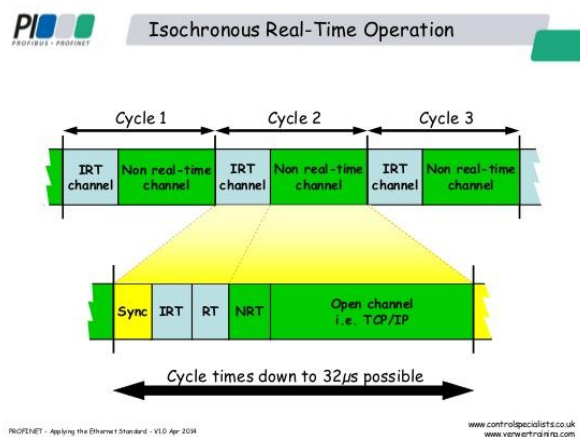


Figura 5 Trama IRT

Thomas Peter (2014), Disponible en: <https://www.slideshare.net/ProfibusUK/profinet-applying-the-ethernet-standard-to-industrial-automation-peter-thomas>

Topologías de red normalmente utilizadas en PROFINET:

Según lo expuesto en el manual “PROFINET System Description”, en la página 48, tenemos entre las topologías más comunes en una red PROFINET:

- **Línea:**

Los dispositivos se agrupan uno tras otro donde se colocaría de primero el servidor y a continuación los clientes.

Inconveniente que tiene esta topología es que si uno de los clientes sufre algún fallo o es retirado de la red, el resto de dispositivos a continuación perderá la comunicación.

- **Estrella:**

Todos los elementos de red están conectados a un nodo central.

- **Anillo:**

Topología que permite la redundancia en la red, con lo cual en caso de que uno de los nodos falle o es removido, la red encuentra otra vía para hacer llegar el paquete de datos al resto de nodos.

Normalmente para esto es necesario tener un equipo (Autómata, router, etc) que permita esta funcionalidad además de configurar un protocolo de redundancia como podrías ser el MRP (Media Redundancy Protocol) o HRP (High Redundancy Protocol).

En la Figura 6 se pueden apreciar ejemplos típicos de cómo se vería una red PROFINET en cada. [11]

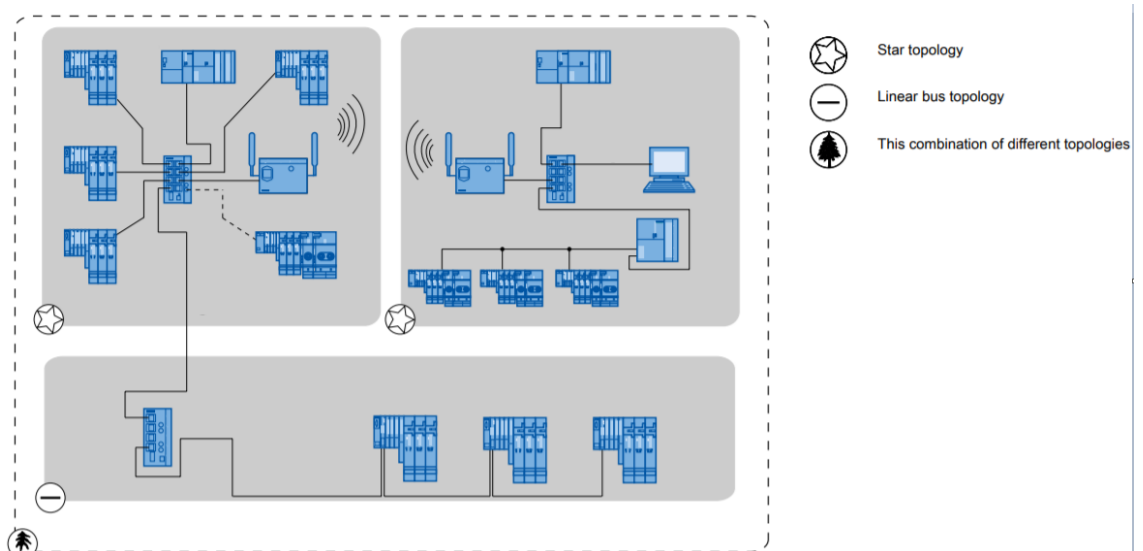


Figura 6 Topología de red

Siemens S.A. (2008), Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/19292127>

3.1.2. PROFIsafe:

Con el perfil PROFIsafe, la comunicación de seguridad se integra a la perfección en PROFIBUS y PROFINET. No necesita configurar un bus de seguridad separado para sus aplicaciones relacionadas con la seguridad. El perfil PROFIsafe se implementa como una capa de software adicional dentro de los dispositivos / sistemas, sin modificar los mecanismos de comunicación estándar de PROFINET. Por lo tanto, los componentes estándar (por ejemplo, módulos de comunicaciones, conectores o cables) involucrados en la comunicación entre las estaciones PROFIsafe se pueden utilizar sin modificaciones.

Como se observa en la Figura 7, la topología de red requiere de un controlador de seguridad (F-CPU) que se encargue de comunicar y supervisar el resto de equipos de dispongan de funciones de seguridad.

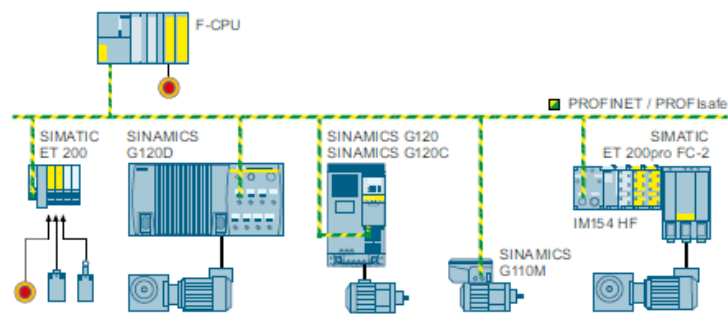


Figure 4-1 PROFIsafe communication between an F-CPU and an inverter, e.g. via PROFINET

For communication via PROFIsafe, you must connect the inverter to a central fail-safe controller (F-CPU) via either PROFIBUS or PROFINET.

Figura 7 Sistema PROFINET con seguridad PROFIsafe

Siemens S.A. (2018), Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109757227>

Los equipos que comunican mediante PROFINET/PROFIBUS en muchos casos lo hacen mediante el uso de telegramas como es el caso de PROFIdrive para control de variadores de frecuencia. PROFIsafe funciona como un telegrama adicional que se le puede añadir al equipo o directamente a módulos de periferia para poder añadir funciones de safety [12].

Debido a una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta para que tal perfil pueda ser aceptado se tienen que cumplir ciertas consideraciones como los mostrados en la siguiente Figura 8:

Measure: Error:	Consecutive Number (sign of life)	Time-out (with receipt)	Codename (for sender and receiver)	Data integrity (CRC)
Unintended repetition	X			
Loss	X	X		
Insertion	X	X	X	
Incorrect sequence	X			
Corruption				X
Unacceptable delay		X		
Adressing			X	
Masquerade (standard message mimics failsafe)		X	X	X
Revolving memory failures within switches	X			

Figura 8 Tabla de seguridad

Otra de las características que hay que recalcar es que esta comunicación aprovecha el mismo medio físico para la transmisión de datos sin interferir con la misma lo cual ahorra cableado en una instalación.

El proceso de safety se ejecuta paralelamente al programa principal en un “segundo procesador” destinado únicamente a la seguridad, que viene incorporado en autómatas preparados para soportar esta funcionalidad [13].

A fines de este proyecto, al realizar pruebas con un variador de frecuencia, para este caso se cuentan con dos telegramas de seguridad:

Telegramas PROFIsafe:

- **Telegrama 30:**

Telegrama que consiste de de 1 palabra (2 bytes) de envío y 1 palabra de recepción, donde permite el control y obtener el estado de las funciones de seguridad tanto en el caso de safety básico y de safety extendido.

En el caso de tener un safety básico se podrá configurar solamente el STO (Safe Torque Off) y dependiendo del equipo el SS1 (Safe Stop 1) y tener un bit de acuse de fallos de seguridad.

En el caso de safety ampliado se pueden configurar el resto de funciones SLS (Safely-Limited Speed), SDI (Safe Direction) positivo, SDI negativo para mayor seguridad [13].

A continuación se muestran dos imágenes con la estructura del telegrama 30 tanto para el sentido de envío de datos como de recepción .

La distribución del telegrama sería como las mostradas en la Figura 9 y la Figura 10.

Sentido de control:

Byte	Bit	Function	Comment
0	0	STO	0 Select STO 1 Deselect STO
	1	SS1	0 Select SS1 1 Deselect SS1
	2, 3	No relevante	
	4	SLS	0 Select SLS 1 Deselect SLS
	5, 6	No relevante	
	7	Acuse evento interno	0 No acusa fallos 1->0 Acusa evento interno por 1->0
1	0	No relevante	
	1	SLS nivel bit 0	Selección nivel SLS
	2	SLS nivel bit 1	Nivel 1 0 0 Nivel 2 0 1 Nivel 3 1 0 Nivel 4 1 1
	3	No relevante	
	4	SDI Positive	0 Selección de SDI con giro en sentido positivo 1 Deselección de SDI con giro en sentido positivo
	5	SDI Negative	0 Selección de SDI con giro en sentido negativo 1 Deselección de SDI con giro en sentido negativo
	6, 7	No relevante	

Figura 9 Palabra de control Telegrama 30 PROFIsafe

Sentido de estado:

Byte	Bit	Function	Comment
0	0	STO	0 STO no activo 1 STO activo
	1	SS1	0 SS1 no activo 1 SS1 activo
	2, 3	No relevante	
	4	SLS	0 SLS no activo 1 SLS activo
	5, 6	No relevante	
	7	Evento interno	0 Sin fallos 1->0 Evento interno
1	0	No relevante	
	1	SLS nivel bit 0	Nivel de SLS activo
	2	SLS nivel bit 1	Nivel 1 0 0 Nivel 2 0 1 Nivel 3 1 0 Nivel 4 1 1
	3	No relevante	
	4	Estado SDI Positivo	0 Selección de SDI con giro en sentido positivo no activo 1 Deselección de SDI con giro en sentido positivo activo
	5	Estado SDI Negativo	0 Selección de SDI con giro en sentido negativo no activo 1 Deselección de SDI con giro en sentido negativo activo
	6	No relevante	
	7	Estado SSM	

Figura 10 Palabra de estado Telegrama 30 PROFIsafe

- **Telegrama 900:**

Telegrama muy similar al 30 con la diferencia de que este posee una palabra adicional en ambos sentidos donde se puede tener supervisión y control de entradas digitales de seguridad en un bornero físico. La distribución de este telegrama sería como la mostrada en la Figura 11.

Control word															
Byte 1								Byte 0							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
		SDI negative	SDI positive		SLS-Limit Selection 00 = Level 1 01 = Level 2 10 = Level 3 11 = Level 4			ACK			SLS			SS1	ST0
Byte 3								Byte 2							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Status word															
Byte 1								Byte 0							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Status SSM		SDI negative active	SDI positive active		active SLS-Limit 00 = Level 1 active 01 = Level 2 active 10 = Level 3 active 11 = Level 4 active			Internal event			SLS active			SS1 active	Power removed
Byte 3								Byte 2							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
					Status FDI2	Status FDI1	Status FDI0								

Figura 11 Telegrama 900 PROFIsafe

Siemens S.A. (2012) , Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/60162672>

3.1.3. OPC UA (Open Plataform Communication Unified Architecture):

Historia:

En un principio se fundó una organización llamada OPC, que se centró en establecer una comunicación de plataforma abierta enfocada a la interoperabilidad y estandarización a nivel de sistemas de control y procesos mediante las comunicaciones industriales entre dispositivos de diferentes fabricantes.

De esta forma se consigue una plataforma que permite a las empresas la elaboración de máquinas y procesos sin tener la limitante de que cada dispositivo que se utilice este obligado a ser configurado e integrado a la red industrial desde las plataformas creadas por sus fabricantes correspondientes, solo está el “limitante” de que los fabricantes de los equipos en cuestión deben formar parte de la organización OPC.

OPC se centra mayormente en el acceso de datos, para la comunicación en todos los niveles de automatización y no en el tipo de datos a manejar.

OPC contiene dos juegos de interfaces; Interfaz diseñada para un propósito (Aplicación) y una Interfaz de Automatización [14].

OPC especifica la interfaz COM (Component Object Model), como: “Lo que la interfaz es y su aplicación y no su implementación”. Especifica el comportamiento esperado que proporciona la interfaz ante el uso y/o aplicaciones del cliente.

- **Arquitectura General de OPC y sus Componentes:**

La arquitectura OPC es un modelo Cliente-Servidor donde el Servidor OPC proporciona una interfaz al objeto OPC y lo controla.

Una aplicación cliente OPC se comunica a un servidor OPC a través de un cliente OPC específico por medio de una interfaz de automatización. El servidor OPC lleva a cabo la interfaz cliente, y opcionalmente lleva a cabo la interfaz de automatización [15].

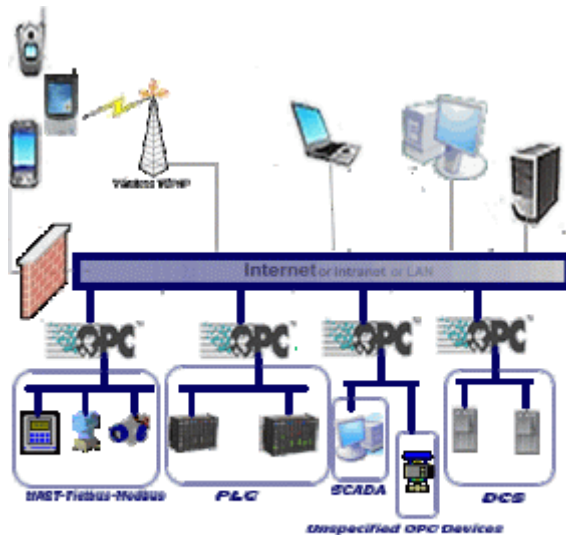


Figura 12 Arquitectura OPC

Jemicz Nick (2012), Disponible en: <https://nickjemicz.wordpress.com/opc-architecture-for-industrial-processes/>

Funcionamiento:

A diferencia de OPC, OPC UA, debido a la alta demanda recibida en los últimos años, ha empezado por diferenciarse al crear el mismo nivel de estandarización en el área de análisis de la información.

El estándar OPC clásico está basado en Microsoft DCOM el cual introduce vulnerabilidad a todas esas áreas. La necesidad de encontrar simplicidad, máxima interoperabilidad y seguridad ha llevado a la fundación OPC a la creación de un método de comunicación unificado para las actuales especificaciones OPC DA (Data Access), HDA (access to historical data) , A&E, y Seguridad.

OPC UA extiende el gran éxito del protocolo de comunicación OPC, para la adquisición de datos, el modelado de la información y la comunicación entre planta y aplicaciones de una forma fiable y segura [16].

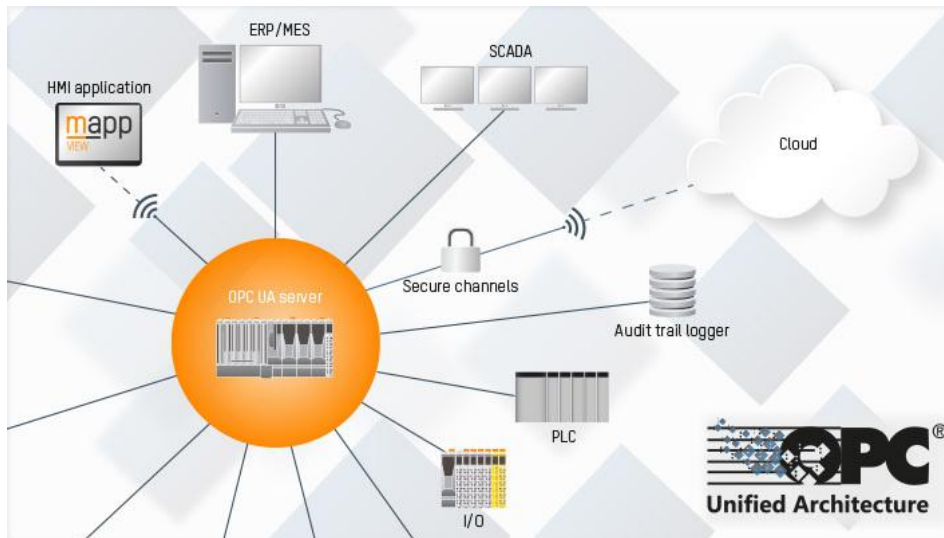


Figura 13 Conexión con servicio OPC UA

Disponible en: <https://www.br-automation.com/es/tecnologias/opc-ua/>

Las principales características y beneficios de los OPC UA son:

- Plataforma neutral que funciona en cualquier sistema operativo
- Preparada para el futuro y para comunicar con sistemas antiguos
- Fácil configuración y mantenimiento
- Tecnología orientada a servicios
- Aumento de la visibilidad
- Mayor alcance de la conectividad
- Alto rendimiento
- Ideal para la integración en industria 4.0

3.1.4. Protocolo seleccionado:

Basándose en las características, ventajas y desventajas de los protocolos mencionados se optó por la implementación del protocolo PROFINET, debido a su versatilidad a la hora de realizar topologías que se adecuen a las necesidades del sistema, cosa que no es posible con PROFIBUS ya que solo admite topología de línea.

Otro rasgo importante es la alta velocidad de transmisión que permite PROFINET, ya que si bien es cierto que la comunicación con el reader sigue la velocidad de un protocolo serie RS422, pero la comunicación con el resto del sistema (Robots, pantallas, sistemas de seguridad, etc) si aprovecha esta velocidad de transmisión.

Por último la posibilidad de implementar funciones de seguridad mediante el propio protocolo de comunicación sin necesidad de añadir hardware adicional al usar PROFIsafe. Esto permite mayor determinismo en la instalación y una optimización en la centralización del sistema.

OPC UA podría utilizarse también, pero al no tener una situación donde intervengan dispositivos de distintos fabricantes, o gestión de Big Data, por no mencionar que su desarrollo todavía le falta madurar, se ha optado por PROFINET.

3.2. RFID (Radio Frequency Identification):

Como se ha explicado anteriormente, el RFID es un dispositivo que se usa mayormente para la identificación de componente de un sistema, basando su tecnología en la implementación por campos magnéticos.

3.2.1. Historia de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification):

El primer uso de identificación por radiofrecuencia (o RFID) a gran escala se llevo a cabo durante la Segunda Guerra Mundial. Los británicos querían ser capaces de distinguir entre sus propios aviones que regresaban de la costa, y los del enemigo. El sistema se desarrolló de la siguiente manera: se colocó un tag en las aeronaves aliadas. Al dar la respuesta adecuada a la señal, una aeronave propia podía ser distinguida automáticamente de una perteneciente al enemigo.

Como una especie de primer sistema RFID pasivo, los alemanes notaron que la señal de radar reflejada por sus aviones cambiaba si los pilotos hacían balancear los aviones mientras se acercaban. De esta manera podían saber si estos aviones eran amigos o enemigos [17].

La base de la tecnología RFID fue la combinación entre la tecnología de radiodifusión y el radar. Básicamente, el proceso es: un transmisor envía una señal que es reflejada de vuelta por un transpondedor en el sistema RFID pasivo, o este transpondedor responde emitiendo una señal en el sistema activo RFID.

“Con más investigaciones y mejores conocimientos, la tecnología RFID creció y se desarrollo en los años 70. En 1973, Charles Watson patentó la tecnología que actualmente conocemos como RFID pasiva” [18].

“Con la tecnología RFID en crecimiento durante medio siglo, la actual vigencia de RFID entró en vigor en 1999, cuando se creó el laboratorio de identificación automática (Auto-ID Lab) en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), con financiación de Procter & Gamble y Gillette. El Auto-ID Lab creó una solución utilizando la tecnología RFID combinada con códigos de producto electrónico (EPC) en sustitución de los sistemas de código de barras. Los tags RFID que el Auto ID Lab creo, almacenan un código electrónico de producto univoco (denominado por sus siglas EPC) en un microchip que se transmite a través de una antena a los lectores RFID” [19].

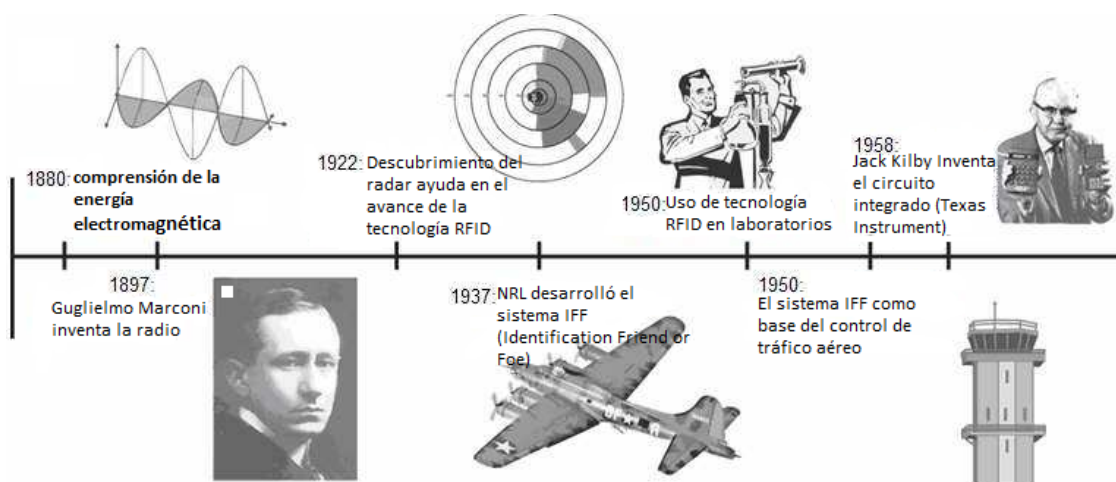


Figura 14 Historia de sistemas RFID

Samuel Gonsales (2017 [Línea temporal], Disponible en: <https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/etiquetas-rfid-revolucionando-gestao-estoques/>

3.2.2. Elementos de sistema RFID:

Lector:

Dispositivo que mediante una antena aplica un campo magnético, normalmente de potencia regulable, para de esta manera excitar el dipolo y/o bobinado del transpondedor donde se encuentra un microprocesador con la información deseada [20].

Transpondedor:

Dispositivo compuesto por dipolo o sistema bobinado que contiene un microprocesador, que al recibir el campo magnético producido por la antena se excita y aporta la información que se solicita.

La etiqueta RFID tiene un transmisor y un receptor integrados. El componente RFID real contenido en una etiqueta tiene dos partes: un circuito integrado para almacenar y procesar información, y una antena para recibir y transmitir una señal. La etiqueta RFID tiene almacenamiento de memoria no volátil y puede incluir lógica fija o programable para procesar la transmisión y los datos del sensor [21].

Las etiquetas pueden ser pasivas, activas o pasivas asistidas por batería:

Tipos de etiqueta:

Según lo expuesto en el proyecto de fin de carrera de Virginia García Candel, “ESTUDIO DE LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RFID) Y DESARROLLO DE SOFTWARE RELACIONADO CON EL CONTROL DE LA CADENA DE SUMINISTRO”, existen tres tipos de tags:

- Etiqueta pasiva:

Es la opción más barata y no tiene batería. La etiqueta utiliza la energía de radio transmitida por el lector.

- **Etiqueta activa:**

Presenta una batería integrada, que transmite periódicamente sus credenciales.

- **Etiqueta semi-pasiva:**

También presenta una pequeña batería integrada, pero solo se activa cuando está en presencia de un lector RFID.

Normalmente cuando se leen tags se leen los EPC (Electronic Product Code) o los TID (Transponder ID). Los TID no son modificables y están compuestos por un número único que viene de fábrica. El espacio EPC del tag es el que se graba, modifica y con el que normalmente interactuamos. Los tags disponen de una memoria interna (Memoria de usuario) donde podemos guardar información adicional.

Además, una etiqueta puede ser de solo lectura o de lectura / escritura. Una etiqueta de solo lectura tiene un número de serie asignado de fábrica usado para la identificación en una base de datos, mientras que una etiqueta de lectura / escritura puede tener datos personalizados específicos escritos en la etiqueta por el usuario [22].

3.2.3. Tipos de sistemas RFID:

LF (Less Frequency):

Estos son sistemas RFID que poseen un corto alcance de entre 2cm a 5cm. Con este tipo de RFID encontrarás solo aplicaciones del tipo ID como identificadores de trabajo, control de acceso, autenticación, etc.

La frecuencia de funcionamiento de este tipo de sistema de identificación está entre 30kHz a 300kHz siendo típicamente de 125kHz.

El mayor motivo para usar este tipo de RFID es el bajo coste que presenta, menor influencia por ondas externas que puede recibir y su pequeño tamaño.

- **Arquitectura:**

Una de las partes clave de los sistemas de RFID pasivos es el diseño del sistema analógico front-end (AFE). Es el responsable de limitar la tensión de antena, rectificando la señal de radio frecuencia y luego vuelve a potencia RF en una señal DC (Direct Current) que puede alimentar el resto del chip. En la Figura 15 se ilustra un esquema del sistema LF.

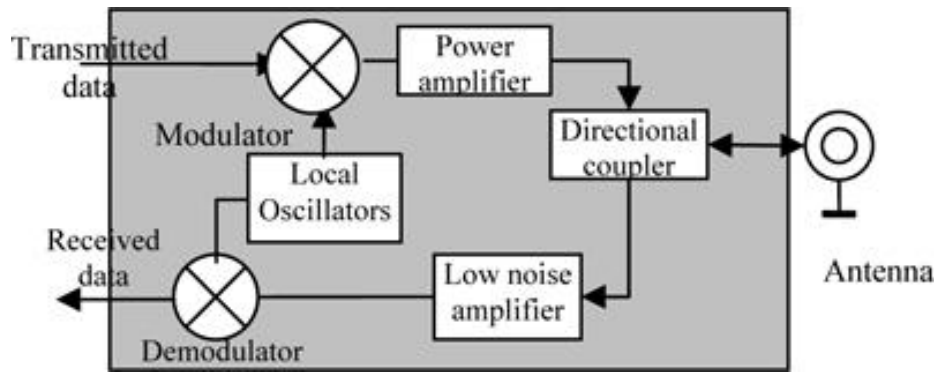


Figura 15 Arquitectura RFID LF y HF

Stevan Preradovic and Nemai C. Karmakar (2007), Disponible en:
<https://www.microwavejournal.com/articles/5271-modern-rfid-readers>

Los tags LF pueden estar algunas veces encerrados dentro de ampollas de vidrio para poder insertar bajo la piel de animales, en el resto de aspectos es muy similar a un HF, donde la antena suele estar hecha de cobre y dependiendo del modelo del lector, el tag podría necesitar o no una batería externa para poder alimentar el chip interno [21].

HF (High Frequency):

Sistemas RFID de corto/mediano alcance (entre 10cm a 1m aproximadamente) con una frecuencia de trabajo de 13,56MHz.

Son sistemas que típicamente trabajan con tags formados por un dipolo que se excita al entrar dentro del campo magnético generado por la antena para así poder activar el microprocesador dentro del mismo para así poder leer o recibir información desde el lector.

HF RFID se usa comúnmente para aplicaciones de emisión de billetes, pagos y transferencia de datos [22].

Existen varios estándares RFID HF, como el estándar ISO 15693 para el seguimiento de artículos, y los estándares ECMA-340 e ISO / IEC 18092 para la comunicación de campo cercano (NFC – Near Field Communication), una tecnología de corto alcance que se usa comúnmente para el intercambio de datos entre dispositivos.

- Estructura memoria Tag HF:

Según lo expuesto en el manual de Siemens “*Sistemas RFID SIMATIC RF300*”, la estructura de un tag HF contiene:

- **UID (Unique Identification Number):** Es el bloque de memoria donde se almacena el número de serie del tag el cual es único y solo de acceso a lectura.
- **Memoria de usuario:** Algunos tags HF cuentan con un pequeño bloque de memoria de usuario para poder almacenar información adicional que se necesite.

UHF (Ultra High Frequency):

Sistema RFID de largo alcance de 0 a 12m para un rango de frecuencia de funcionamiento de 865MHz a 928 MHz.

De manera similar a los sistemas HF, los tags de UHF llevan una antena internada, comúnmente conformada por un dipolo, que cuando es excitado debido a la antena del lector, alimenta un microprocesador para así poder transmitir o recibir la información que éste almacena.

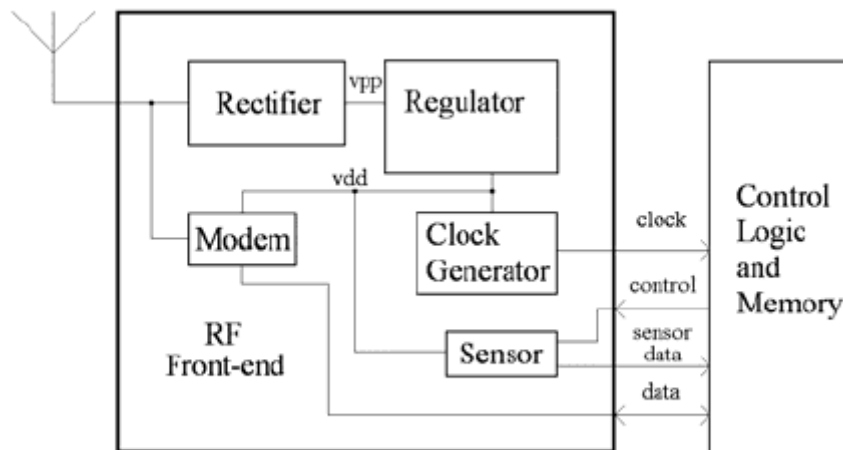


Figura 16 Arquitectura RFID UHF

Sheng-Hua Zhou, Nan-Jian Wu (2006), Disponible en:
https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-the-RFID-tag-RF-front-end-with-sensor_fig1_224286651

- Estructura memoria Tag UHF:

Según el artículo de Armstrong Shain, “Types of Memory in RFID Tags”, la memoria de un tag UHF se divide como se explica a continuación y como se puede ver en la Figura 17.

○ Memoria reservada:

Este banco de memoria almacena la contraseña de eliminación y la contraseña de acceso (cada una es de 32 bits). La contraseña de eliminación desactiva de forma permanente la etiqueta (muy rara vez se utiliza), y la contraseña de acceso está configurada para bloquear y desbloquear las capacidades de escritura de la etiqueta. Este banco de memoria solo se puede escribir si desea especificar una contraseña determinada. La mayoría de los usuarios no utilizan esta área de memoria a menos que sus aplicaciones contengan datos confidenciales. No puede almacenar información además de los dos códigos.

○ Memoria EPC (Electronic Product Code):

Este banco de memoria almacena el código EPC o el Código de producto electrónico. Tiene un mínimo de 96 bits de memoria escribible. La memoria EPC es lo que normalmente se usa en la mayoría de las aplicaciones si solo necesitan 96 bits de memoria. Hay algunas etiquetas que tienen la capacidad de asignar más bits a la

memoria EPC desde la memoria del usuario. La memoria EPC es el primer banco de memoria escribible.

- **Memoria TID (Tag Identifier Memory):**

Esta memoria se usa solo para almacenar el número de identificación de etiqueta único por el fabricante cuando se fabrica el IC. Normalmente, esta parte de la memoria no se puede cambiar.

- **Memoria de usuario:**

Si el usuario necesita más memoria de la que la sección EPC tiene disponible, ciertos IC tienen memoria de usuario extendida que puede almacenar más información. Cuando se trata de la memoria del usuario, no hay un estándar en relación a cuántos bits de memoria se pueden escribir en cada etiqueta. Normalmente, la memoria extendida no es más de 512 bits, pero hay algunas etiquetas de memoria alta con hasta 4K u 8K bytes de memoria. Este es el segundo banco de memoria grabable para Gen 2 ICs [22].

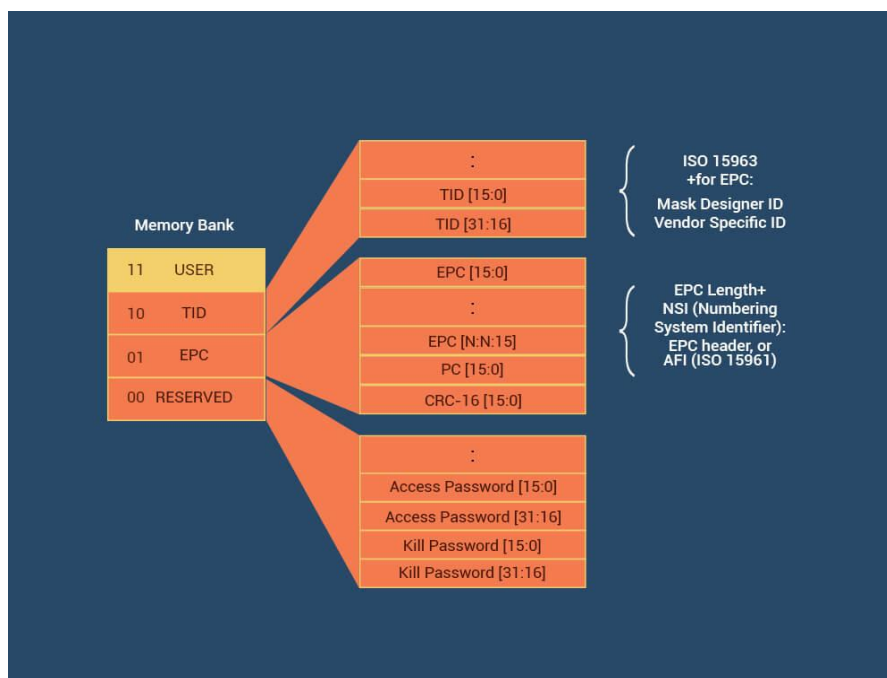


Figura 17 Estructura Tags RFID

Disponible en: <https://rfid4u.com/rfid-basics-resources/epc-gen2-memory/>

3.3. Sistemas HMI (Human Machine Interface):

En un sistema de control, el HMI es un controlador de acceso que evita que los operadores se vean inundados con datos y una guía para realizar acciones seguras.

Mediante la interconexión de elementos del sistema, y siendo una pantalla un elemento, se puede configurar un HMI en la misma para tener una mejor visualización de todas las variables de sistema, mejor control sobre los procesos al poder utilizar gráficos, tablas, dibujos y comunicaciones para tener una visión tanto del nivel de campo como del nivel de gestión [23].

En relación a este proyecto, el HMI viene a ser una interfaz humano-máquina que será implementada en una pantalla táctil que permitirá tanto controlar como visualizar el estado del sistema, tener acceso a información concreta de la base de datos de forma más sencilla, aprovechando que estos sistemas pueden formar parte de una red Ethernet, PROFIBUS y PROFINET.

4. SISTEMA DESARROLLADO

Teniendo en cuenta la descripción de distintas tecnologías, dispositivos y tener idea de que es industria 4.0, se optó por un sistema que cuenta con un lector RFID tipo HF y antena externa, un PLC seguro y simulación de una pantalla HMI.

En un principio se presentaron distintos sistemas a probar para la realización de la tarea de supervisión, los cuales serán explicados en la sección 4.1.1. Alternativas de diseño, y se expondrán motivos por el cual no fueron seleccionados.

Para simular la herramienta se utiliza un variador de frecuencia del cual se dispuso en el laboratorio y una pantalla HMI simulada desde el ordenador para simular el entorno de supervisión.

4.1. Diseño de la solución implementada:

El sistema de supervisión de herramientas está conformado por un autómata seguro el cual realiza la función de controlador central con funciones de seguridad, un lector RFID HF con antena externa para poder realizar el seguimiento del tiempo de uso de la herramienta, pasarela de comunicaciones RS422 para la comunicación entre el PLC y el lector, una pantalla HMI.

Para poder validar el diseño se utilizó un variador de frecuencia como herramienta a supervisar.

Se utilizó como plataforma de programación e integración el Software TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) para crear la red Profinet entre los dispositivos ya mencionados, y poder la aplicación ya que es posible en un mismo software configurar la pantalla, el variador de frecuencia, y programar las funciones de supervisión mediante el controlador seguro. Con esto se garantiza una interoperabilidad entre componentes más eficiente y sencilla de lograr.

El motivo por el cual se optó por un sistema de supervisión de corto alcance al usar un sistema RFID HF fue debido a que interesa saber con la mayor precisión posible que la herramienta se encuentra en el robot, concretamente en la zona de colocación de la misma. Para esto lo más óptimo es colocar una antena justo en el punto de conexión de la herramienta con el robot de modo que cuando la misma se ubique, solo exista una separación de pocos mm entre el tag y el reader.

4.1.1. Alternativas de diseño:

En esta sección se presentan alternativas de diseño previas al sistema expuesto en esta memoria, considerando tecnologías UHF y HF y el por qué no se implementaron como diseño final.

Alternativas basadas en sistemas RFID UHF:

- Implementación de sistema RFID UHF:

En un principio se planteó el uso de tecnología UHF para poder implementar los mismos tags utilizados para la gestión de inventarios, en la supervisión de herramientas, logrando con los mismos equipos y hardware ampliar las funcionalidades del sistema y reducir costes. Se mencionan tags de gestión de inventarios porque estos son sistemas que hoy día son comunes en plantas industriales y se podría aprovechar el material ya existente de RFID para realizar la supervisión.

Esta opción fue desechada debido a que es una solución más engorrosa debido a que una de las características de un sistema UHF es el largo alcance de lectura, lo cual implica una mayor potencia del reader, lo cual puede causar la lectura simultanea de más de un tag durante el proceso. Para evitar esto se podría realizar una separación de máquinas con una pared metálica que impida la extensión del campo magnético a otras áreas, y/o programar un filtro EPC pero esto implicaría mayor coste, mayores cálculos y consideraciones además de tener un sistema que si no se elabora correctamente puede ser propenso a interferencias.

- Implementar RFID UHF para trazabilidad y gestión de inventarios y supervisión por programa sin detección de presencia:

Esta alternativa plantea que por programa se descuenta el tiempo de vida útil de la herramienta basándose en la confirmación de marcha de la misma, para posteriormente ser transferido al tag cada vez que se finalice el ciclo de trabajo.

Esta opción fue descartada ya que no permite la detección constante de la herramienta en su sitio de trabajo, por lo que disminuye la precisión y rango de la aplicación.

Alternativas basadas en sistemas RFID HF:

- Decremento del tiempo de vida útil por jornadas de trabajo:

En este escenario se plantea utilizar tecnología HF y realizar el descuento de tiempo por jornada de trabajo, es decir, que por cada día que transcurra se restase el tiempo total que se supondría la herramienta debería de trabajar, restando cantidades de horas justas, por ejemplo, dos horas por cada día de trabajo implementada.

Este planteamiento tiene como fallo que no contempla imprevistos, un paro por mantenimiento, un uso prolongado en días puntuales por causas externas (apagones, imprevistos en la cadena de producción, etc). Más importante aún es que aquí no mide con precisión hasta el último segundo que se utilice, lo cual tiene una repercusión a largo plazo, porque si una máquina tiene un tiempo de vida de 10 años, y diariamente se desprecian 5 minutos de su uso aproximadamente, la cuenta podría terminar en $10 \text{ años} \times 365 \text{ días} \times 5 \text{ minutos} = 18250 \text{ minutos no contados} = 304 \text{ horas no contadas} = 13 \text{ días no contemplados}$, lo que trae como consecuencia que se desaprovechen 2 semanas de uso de la herramienta, o en el peor de los casos, un paro de emergencia por avería de la misma 2 semanas antes de lo contemplado.

4.1.2. Diseño final:

Beneficios:

Este diseño final ha dado diversos beneficios, desde la complejidad del programa, hasta la topología de red, tiempos de respuesta y simplicidad de componentes.

Por un lado se tiene un dispositivo que permite centralizar el control tanto del programa de supervisión como de otras funcionalidades para diversas tareas, un dispositivo de identificación “inalámbrica” que permite identificar las herramientas sin necesidad de contacto ni obstaculizar el movimiento de la misma u otra máquina. A nivel de seguridad se cuenta con un protocolo de comunicaciones de seguridad que permite tener una aplicación más segura sin la necesidad de incrementar el hardware agregando por ejemplo, una seta de emergencia. Por último y no menos importante, se demuestra que es posible vincular esto con el nivel de gestión al poder controlar y supervisar la herramienta desde una pantalla.

Con todo lo dicho se obtiene lo siguiente:

- *Mayor precisión en la ubicación de la herramienta:* al tener una tecnología RFID HF, con antena externa, permite colocar a la misma por sus dimensiones, en un punto del robot que no estorbe y al mismo tiempo va a detectar presencia de la herramienta y realizar el conteo de forma más precisa y estable.
- Al utilizar tecnología RFID HF/LF en vez de UHF, se evita tener un campo de lectura amplio que pueda detectar más de un tag en la cercanía causando inconvenientes con la aplicación, además de reducir el riesgo de interferencias electromagnéticas.

Previamente es necesario que cada tag que se vaya a colocar en la herramienta posea la información necesaria para la supervisión. Esto implicaría que previamente, se debe escribir en la memoria de usuario del tag el nombre de la herramienta, el tiempo de vida útil y a preferencias del usuario como un código interno de la herramienta (Podría utilizarse para este fin el propio código almacenado en la UID del tag).

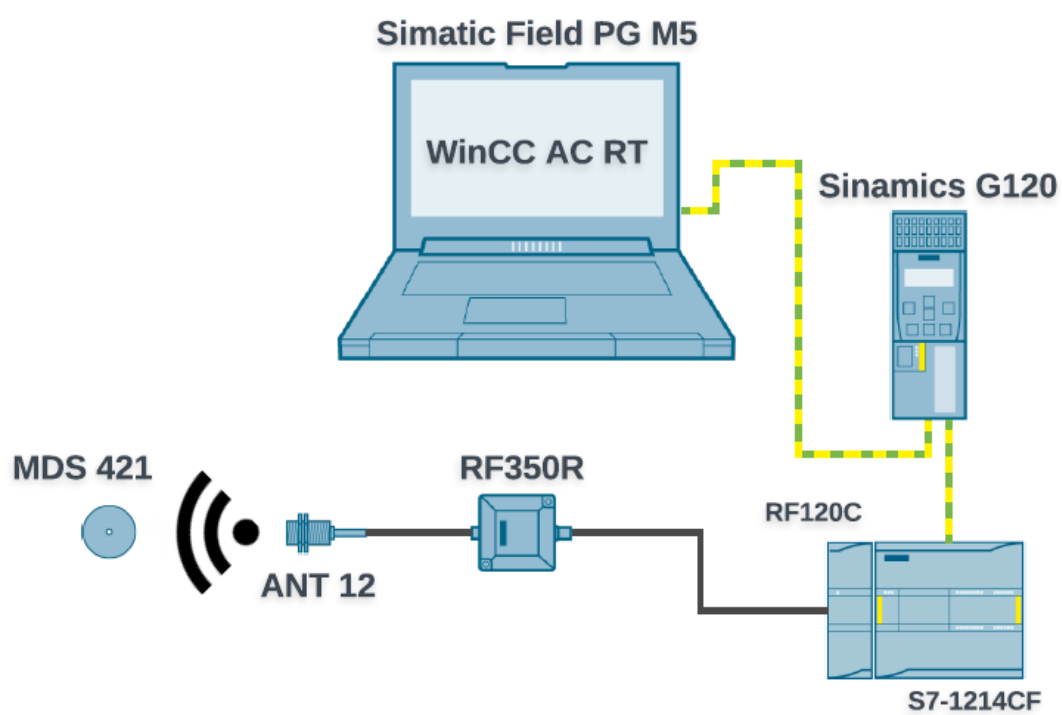


Figura 18 Esquema de conexión

4.2. Secuencia de ejecución:

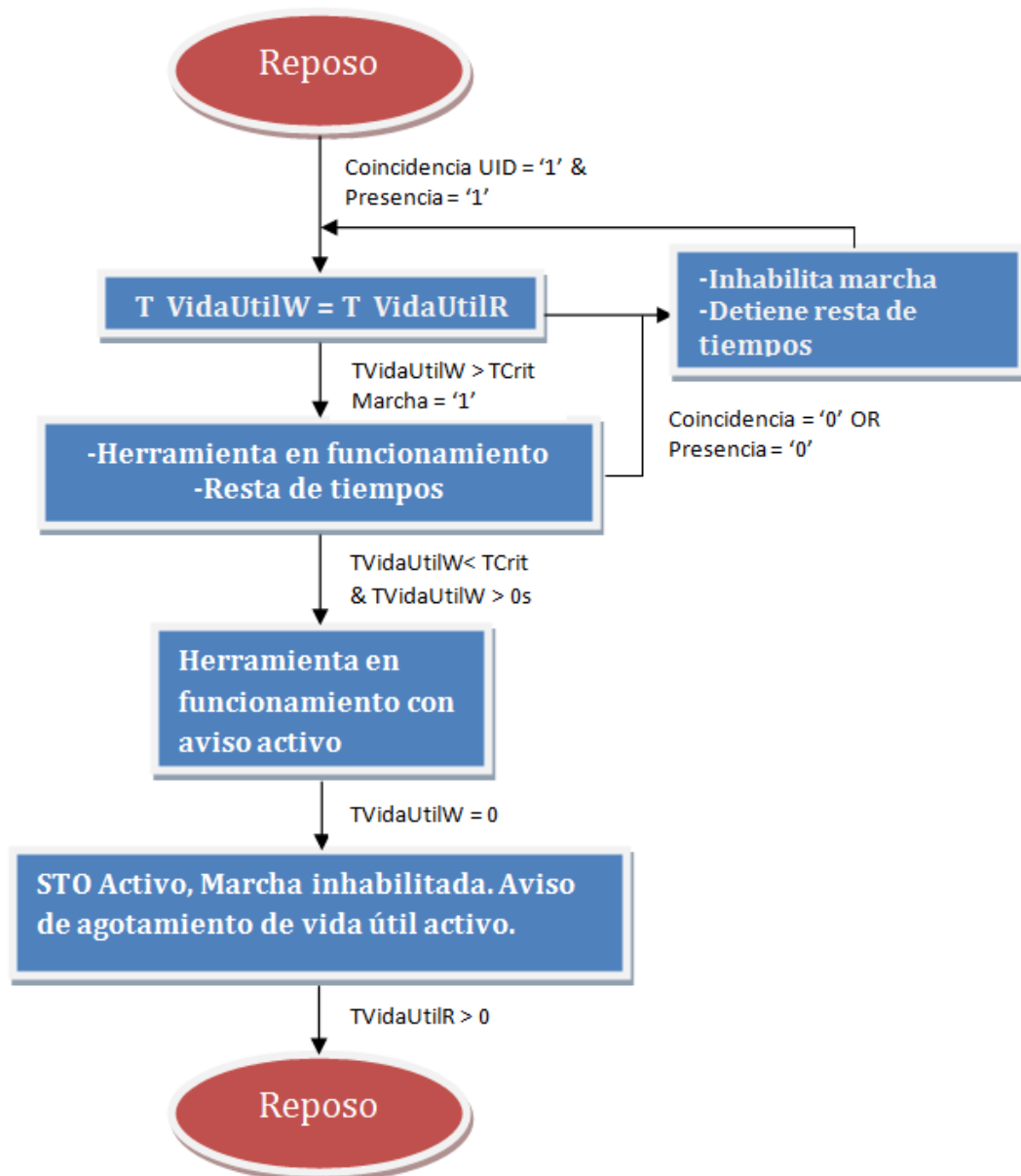


Figura 19 Esquema de secuencia de programa

El procedimiento a seguir es, partiendo del reposo, esperar a que se coloque la herramienta, lo cual notará el sistema mediante el tag incrustado en el equipo, que será leído por la antena que se encuentra acoplada en el robot. Esta antena detecta presencia y verificará que la UID de la herramienta se corresponda con la registrada en la base de datos, además de cargar el tiempo de vida útil y demás datos almacenados en la memoria de usuario.

Una vez cargada la información se debe esperar a que la herramienta empiece a funcionar. Una vez la misma entra en funcionamiento, un contador empieza a contar el tiempo que de uso de la herramienta y se lo resta al tiempo de vida de útil, pasando a ser este tiempo resultado el nuevo tiempo de vida.

En cada tag se ha definido un tiempo crítico (TCrit) que representará una fracción del tiempo de vida útil inicial para el cual la máquina dará un aviso de que la

herramienta se encuentra dentro del tiempo crítico de vida, de modo que se pueda planificar un mantenimiento preventivo o la sustitución de la misma.

En el caso en que a pesar del aviso, la herramienta se siga usando, entonces se activa un paro de emergencia STO (Safe Torque OFF), donde al ser el tiempo de vida restante igual a cero, se pare la máquina hasta que se cambie la herramienta o se haga mantenimiento para volver a retomar las tareas.

Si en algún momento del proceso se deja de detectar presencia, o la UID cambia entonces se inhabilita la marcha y se para la resta de tiempos.

Lo importante aquí está en actualizar constantemente y en tiempo real el tiempo de vida que le queda a la herramienta a lo largo de su uso y este al mismo tiempo escribirlo en el tag para continuar la cuenta tras el uso esporádico de la herramienta.

4.3. Dispositivos utilizados:

- **Software: TIA Portal V15 (Step7, Startdrive y WinCC)**

Software donde se realiza la programación del autómatas, variador de frecuencia y pantalla HMI, portal que permite la integración de los elementos del sistema dentro de un mismo entorno.

TIA Portal es el nombre de la plataforma, que a la vez está compuesto por los software:

- **Step7:** para la programación de autómatas.
- **Startdrive:** Software de puesta en marcha y parametrización de variadores de frecuencia Sinamics.
- **WinCC:** Software de programación y configuración de la pantalla HMI.

- **PLC: S7-1214CF DC/DC/DC**

Controlador seguro del sistema de supervisión, encargado de dar ordenas al resto de elementos y ser el cerebro de la aplicación, además de prestar la posibilidad a configurar funciones de seguridad mediante comunicaciones.

Se programa mediante el uso de TIA Portal Step7, en lenguaje de programación KOP, llamado normalmente LADDER, lenguaje de programación simbólico como se apreciará más adelante en imágenes de código.

Este PLC, con terminación F y con las líneas amarillas en los laterales indica que tiene funciones de seguridad vía PROFIsafe, por lo que con este mismo equipo, con Step7 y Startdrive en conjunto se configura la funcionalidad de seguridad STO.

La terminación C indica que es un PLC compacto por lo que posee entradas y salidas analógicas y digitales en la propia cabecera sin necesidad de módulos adicionales, además de contar con un puerto PROFINET para la comunicación, en los laterales entradas para conectar módulos de comunicación como es el caso del RF120C y en la parte superior hay espacio para la colocación de una CB (Communication board) que para fines de este proyecto no se ha utilizado.

La terminación DC/DC/DC indica que la forma de alimentar el PLC es con corriente continua a 24V.



Figura 20 Controlador S7-1214FC DC/DC/DC

- **Modulo de comunicación: RF120C**

Encargado de realizar la comunicaciones RS422 entre el PLC y el lector RFID.

Este modulo permite el envío de información entre PLC y lector de forma bidireccional (Escritura lectura), de los datos que trata el tag.



Figura 21 Modulo de comunicación RF120C

- **Lector: RF350R**

Dispositivo encargado de la lectura y escritura de tags que se comunica con el PLC mediante el modulo de comunicación RF120C. Por la parte inferior se conecta al RF120C por comunicación basado en RS422 y por la parte superior se conecta la antena externa.



Figura 22 Lector RFID HF RF350R

- **Antena externa: ANT 12**

Antena externa que funciona como extensión del lector RFID para poder aumentar el rango de posicionamiento del lector.



Figura 23 Antena externa ANT12

- **Tag: MDS D421 A**

Dispositivo encargado de almacenar y proporcionar la información sobre la herramienta.



Figura 24 Tag MDS D421 A

- **Cable de comunicación PROFINET:**



Figura 25 Cable PROFINET

- **Cable de comunicación RS422:**



Figura 26 Cable de comunicación RS422

- **Variador de frecuencia Sinamics G120 Cu240E-2 PN F:**

Unidad de control de variador de frecuencia, encargada de procesar toda la configuración del equipo y realizar la comunicación con otros dispositivos, en este caso, el controlador de seguridad.



Figura 27 Variador de frecuencia Sinamics G120

- **PC system WinCC RT Advanced (Simulado):**

Simulación de pantalla HMI encargada del nivel de supervisión desde donde se darán las ordenes y se visualizará la información.

- **Simatic Field PG M5:**

Ordenador industrial desde donde se realiza la programación y configuración de los dispositivos. Cuenta con alto nivel de robustez, hardware preparado para entornos industriales con grado de protección IP65.



Figura 28 Simatic Field PG

A falta de un robot industrial se procedió a escribir el programa y se probó mediante el uso de un sistema RFID HF y un variador de frecuencia con su motor de inducción correspondiente.

4.4. Protocolo de interfaz aérea RF300:

- **ISO 14443:**

Según la ISO/IEC:

“

- Sondeo de tarjetas de proximidad u objetos (PICC) que ingresan al campo de un dispositivo de acoplamiento de proximidad (PCD);
- El formato de bytes, los marcos y la temporización utilizados durante la fase inicial de comunicación entre PCD y PICC;
- El contenido inicial del comando de solicitud y respuesta a solicitud;
- Métodos para detectar y comunicarse con un PICC entre varios PICC (anticolisión);
- Otros parámetros necesarios para inicializar las comunicaciones entre un PICC y PCD;
- Medios opcionales para facilitar y acelerar la selección de un PICC entre varios PICC según los criterios de aplicación.
- El protocolo y los comandos utilizados por las capas superiores y por las aplicaciones y que se usan después de la fase inicial se describen en ISO / IEC 14443-4.” [25]

- **ISO 15693:**

Según la ISO/IEC:

“

- Protocolos y comandos;

- Otros parámetros necesarios para iniciar las comunicaciones entre una tarjeta de circuito integrado de proximidad y un dispositivo de acoplamiento de proximidad;
- Métodos para detectar y comunicarse con una tarjeta entre varias tarjetas ("anticolisión");
- Medios opcionales para facilitar y acelerar la selección de una entre varias tarjetas según los criterios de aplicación.” [26].

Desde un autómata se puede realizar la lógica necesaria para que el lector cumpla su tarea, sea la supervisión de presencia, cumplimiento de condiciones en una cadena de producción, identificar partes, etc.

4.5. Normativa:

- **IEC (International Electrotechnical Commission):** es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas [26].

Numerosas normas se desarrollan conjuntamente con la Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*, ISO): normas ISO/IEC.

- **UNE-EN 300330 V2.1.1:** “Dispositivos de corto alcance (SRD); Equipo de radio en la gama de frecuencia 9 kHz a 25 MHz y sistemas de bucle inductivo en la gama de frecuencias 9 kHz a 30 MHz; Norma armonizada que cubre los requisitos esenciales según el artículo 3.2 de la Directiva 2014/53/UE (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2017.)” [27].
- **UNE-EN 301489-1 V2.1.1:** “Norma de Compatibilidad Electromagnética (EMC) para equipos y servicios de radiocomunicaciones; Parte 1: Requisitos técnicos comunes. Norma Armonizada que cubre los requisitos esenciales según el artículo 3.1(b) de la Directiva 2014/53/UE y los requisitos esenciales según el artículo 6 de la Directiva 2014/30/EU. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2017.)” [28]
- **FCC Parte 15:** “es la sección del Título 47 del Código de Regulaciones Federales que cubre EMC y está regulada por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). La FCC ha definido el alcance de la Parte 15 de la FCC como lo siguiente:

A. Esta parte establece las normas según las cuales un radiador intencional, involuntario o incidental puede ser operado sin una licencia individual. También contiene las especificaciones técnicas, los requisitos administrativos y otras condiciones relacionadas con la comercialización de los dispositivos de la Parte 15.

B. La operación de un radiador intencional o no intencional que no esté de acuerdo con las regulaciones de esta parte debe tener una licencia conforme a las disposiciones de la sección 301 de la Ley de Comunicaciones de 1934, según enmendada, a menos que esté exento de los requisitos de licencia en otros lugares de Este capítulo.

C. A menos que esté específicamente exento, la operación o comercialización de un radiador intencional o no intencional que no cumpla con las disposiciones administrativas y técnicas de esta parte, incluida la autorización o verificación previa de la Comisión, según corresponda, está prohibida por la sección 302 de la Ley de Comunicaciones. de 1934, según enmendada, y la subparte I de la parte 2 de este capítulo. Los procedimientos de autorización y verificación del equipo se detallan en la subparte J de la parte 2 de este capítulo”. [29]

- **Atex:**

- **Real Decreto 400/1996:** “relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas [Trasposición de la Directiva 94/9/CE (ATEX-100)]”. [30]
- **Real Decreto 681/2003:** “sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo [Trasposición de la Directiva 99/92/CE (ATEX-137)]”. [31]

- **Marca CE:** “Significan que los productos vendidos en el EEE han sido evaluados para cumplir con altos requisitos de seguridad, salud y protección del medio ambiente. Cuando compra un teléfono nuevo, un osito de peluche o un televisor en el EEE, puede encontrar la marca CE en ellos. El marcado CE también apoya la competencia leal al responsabilizar a todas las empresas de las mismas reglas.”[32]

4.6. Desarrollo e implementación de la solución:

1) Crear proyecto:

Con la herramienta TIA Portal V14/ Step 7 se creó el proyecto, donde se integró a nivel de hardware, el PLC, y pasarela RF120C (modulo de comunicación para comunicación mediante interfaz serie RS422).

Dentro de la vista hardware, en la configuración del modulo de comunicación se le definió como sistema de identificación un sistema RF300 general (Familia RFID HF de Siemens) ya que el lector a utilizar es un RF350R. En el tipo de transpondedor (Tag) se seleccionó el tipo ISO 15693 correspondiente al MDS.

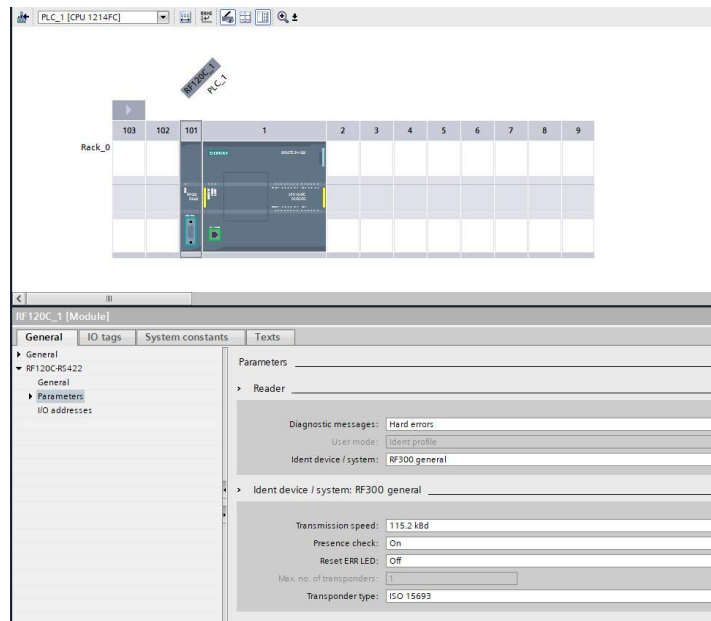


Figura 29 configuración modulo RF120C

Al estar el modulo conectado mediante bus interno con el PLC y el lector ir conectado a este modulo, la comunicación se hace es a través del PLC, en este caso mediante PROFINET, por lo que el único dispositivo que se debe configurar comunicación industrial en este caso es el autómata, el cual lleva la dirección IP 192.168.0.1 con máscara de subred 255.255.255.0 y nombre PROFINET “plc_1”.

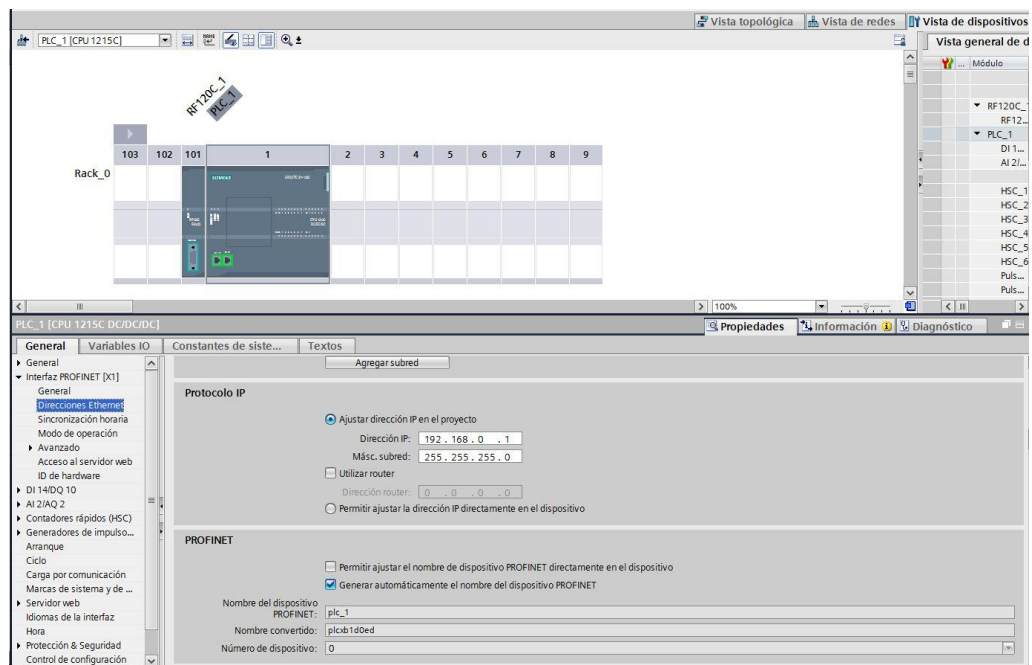


Figura 30 Configuración de comunicación PN

Una vez agregado y configurado el PLC y el modulo RF120C se debe configurar la función de seguridad mediante PROFIsafe del PLC junto con el variador de frecuencia, para lo que el PLC solo necesita que se le active esta funcionalidad como se

muestra en la Figura 31 y automáticamente se crearan y agregaran al programa el procesador para la parte de seguridad.

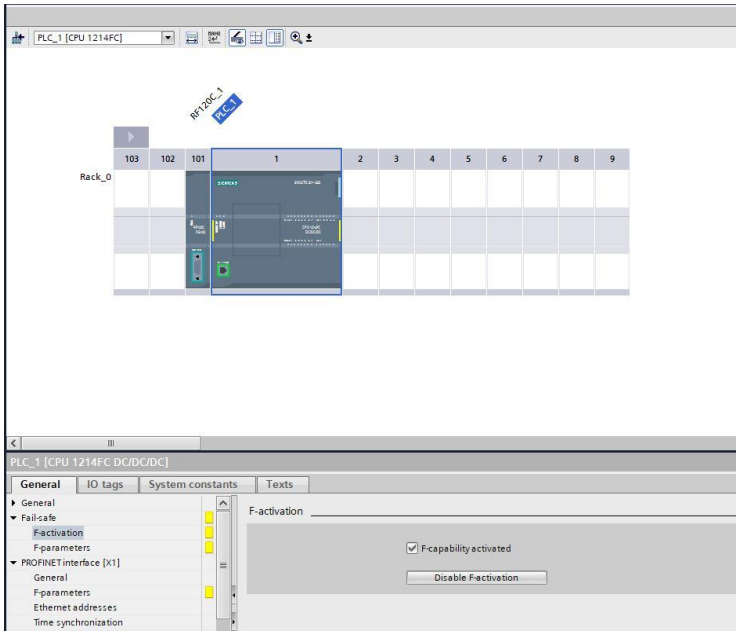


Figura 31 Habilidad seguridad PLC

Posteriormente es necesario configurar la funcionalidad safety del variador de frecuencia para que pueda comunicar mediante telegrama de seguridad 30 con el autómata. A fines de este proyecto se configuró la función STO, la cual al detectar un cambio de flanco de TRUE a FALSE, se corta la alimentación al motor, se desmagnetiza el mismo y para por su propia inercia. Para esto es necesario que el equipo soporte PROFIsafe, de lo contrario habría que buscar otro método para implementar safety.

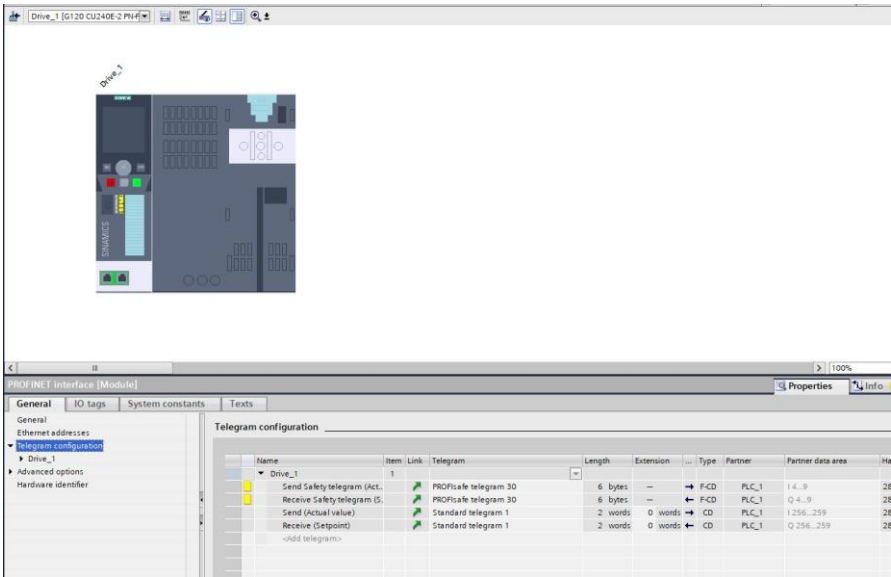


Figura 32 Telegrama estándar y telegrama de seguridad en el G120

2) Programa para grabar y leer información en el tag:

Para esto se creó un bloque de programa FB (Function Block) que permite, cada vez que sea llamado, escribir y leer información en el tag de manera previa a ejecutar la tarea.

Dentro de este FB se configuraron 3 bloques de la librería Ident de TIA Portal:

- **Reset_Reader:** Bloque con una entrada para ejecutar y otra para vincular el lector RFID, que en este caso, se asocia con el modulo de comunicaciones RF120C.

Este bloque es necesario para poder inicializar el lector al enviar una orden de ejecutar. Sin esta orden el sistema no funcionará.

- **Read:** Bloque de lectura de tags, donde se tiene una entrada para ejecutar, otras entradas para definir qué dirección del tag se quiere leer, el tamaño de los datos a leer, otra para definir la EPC del tag que se quiere leer (Opcional), entrada para el ID de HW y por último una entrada para el bus de datos a leer donde se asoció una variable de tipo array de byte de 33 elementos.
- **Write:** Similar al bloque “Read”. La única diferencia aquí es que la última variable de entrada del bloque se le asigna el mismo array solo que aquí es donde se escribirá lo que se quiere almacenar en el tag.

Una vez configurado esto, se grabó en 5 tags diferentes, nombres de herramientas, tiempos de vida útil ficticios.

Para conseguir una mejor gestión de los datos, el bloque de programa para almacenar variables, DB (Data Block), se ha modificado para no tener acceso optimizado, con la intención de poder definir la dirección de memoria en la que se va a encontrar cada variable y así poder utilizar mejor la distribución de memoria del propio tag.

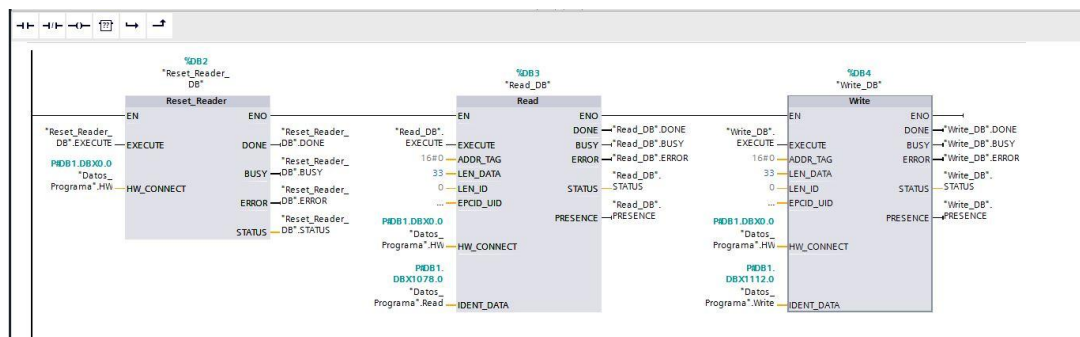


Figura 33 Inicialización, Lectura y Escritura

3) Elaboración del programa de supervisión de herramientas:

Este punto es el más crítico de la fase de desarrollo porque hay que tener en cuenta el modelo del tag que se ha implementado, conocer el mapa de memoria del mismo para saber donde se debe guardar la información y en qué orden, además de verificar que tenga la memoria necesaria para la aplicación.

Por otro lado realizar la lógica para la resta de tiempos, detección de presencia que habilite el funcionamiento de la herramienta y lectura de datos.

En este caso el modelo del tag es MDS D421 B, que tiene un mapa de memoria:

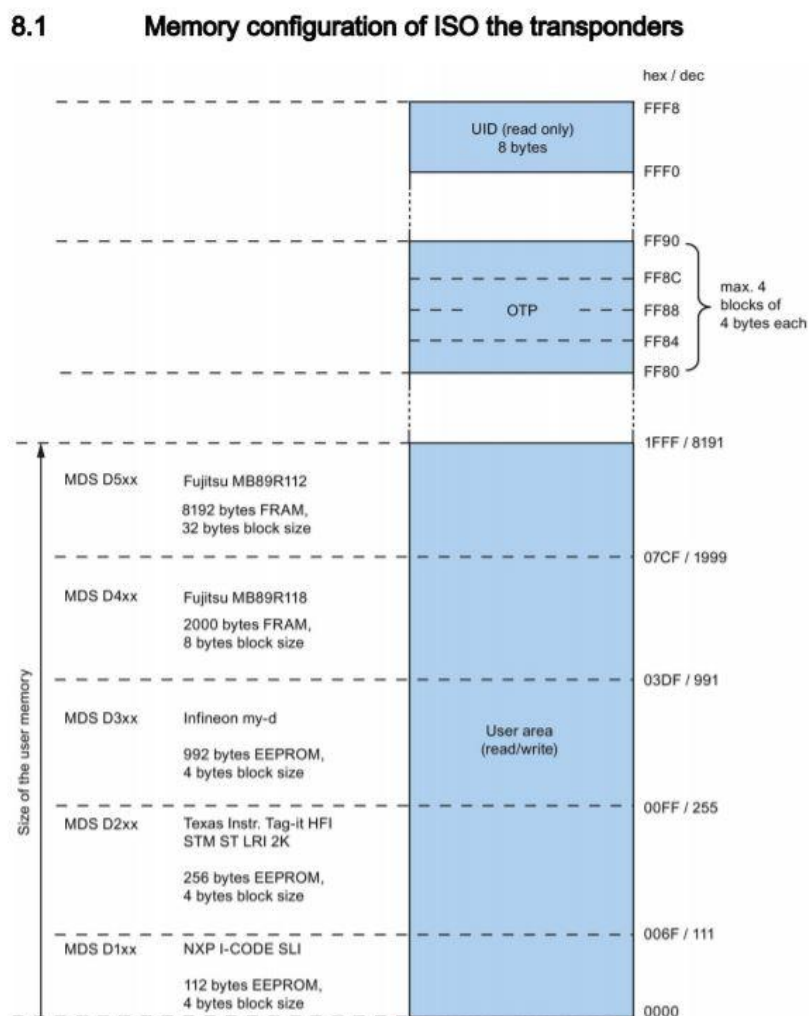


Figura 34 Mapa de memoria de tags MDS Dxxx

SIMATIC Ident RFID systems SIMATIC RF300 System Manual. Diposnible en:
<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109766916>

De aquí se sabe entonces que la memoria de usuario de este transpondedor en concreto va de 0000 a la 07CF, con una memoria de 2000 bytes FRAM.

Ya con esto se procede a empezar la lógica de funcionamiento del programa:

- Comunicación con la Base de Datos:

Para una mayor supervisión de la herramienta, un punto clave es el uso de la UID, código compuesto por 8 bytes dentro del tag y que es único para cada uno.

Por otro lado existe una base de datos donde se registra la información de las herramientas que se tienen en existencias, donde para este caso se almacenarán nombre de la herramienta, UID y tiempo de vida útil de la misma. Con esta información en la BBDD (Base de datos) el programa de supervisión ya puede acceder a la misma para consultar información que lee del tag real y compararlo con lo que se tiene almacenado en sistema.

Teniendo ya todas las herramienta inventariadas y teniendo una base de datos donde se pueda ver el inventario con los datos almacenados en cada tag, al seleccionar la herramienta en cuestión esta base de datos enviará la UID que debe tener el tag colocado en la misma de forma que cuando se encuentre enfrenteado a la antena esta haga una comparación de UID y si coinciden permita trabajar a la máquina y en caso contrario no permita ni dar marcha ni descontar tiempo.

Este proceso se lleva a cabo siguiendo el código mostrado en la figura 35, donde con un bucle for se hace un recorrido 8 veces sobre la UID para así comparar byte a byte en sus respectivas posiciones y devolver un TRUE o un FALSE.

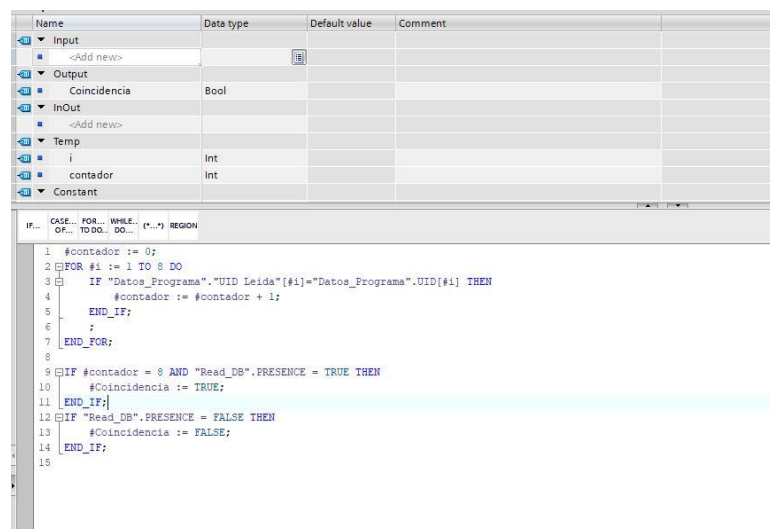


Figura 35 Comparación UID

- Cálculo de tiempos:

Esta función es la encargada de restarle el tiempo de uso al tiempo de vida útil de la herramienta en tiempo real, actualizando la información almacenada en el tag cada vez que se finaliza un comando de marcha.

El FC (Function Chart) de “Calculo_Tiempo_Uso” se baso en los siguientes segmentos que no se mostraran por la extensión del código en la Figura 38.

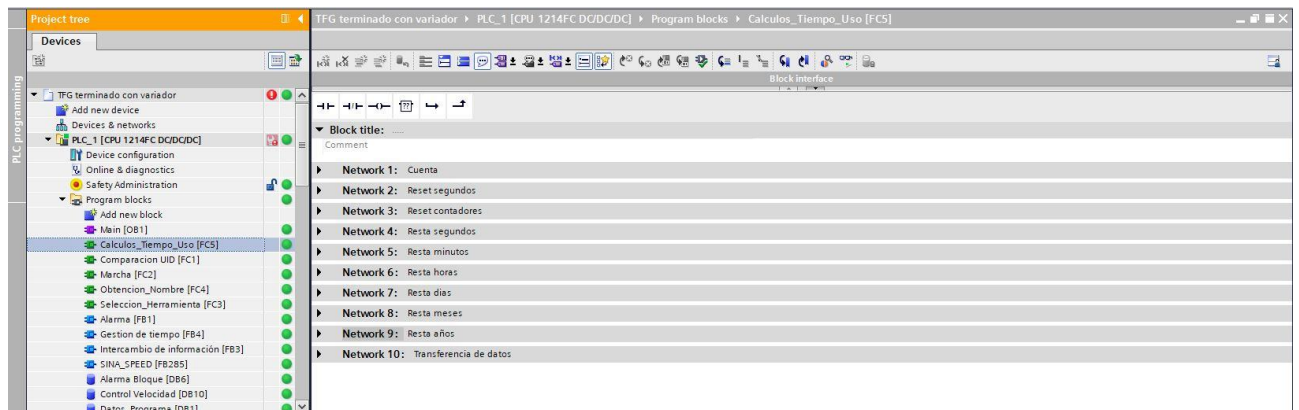


Figura 38 Networks en el OB Main

Cada segmento realiza:

- 1) **Cuenta:** conteo dentro del rango de segundos, minutos, horas, días, meses y años donde 60s = 1min, 60min = 1h, 24h = 1dia, 30dias = 1mes y 12 meses = 1 año.
- 2) **Reset segundos:** reset de la cuenta de segundos una vez se quite la marcha o haya alcanzado los 60s.
- 3) **Reset contadores:** de manera análoga al reset segundos, se hace lo mismo con el resto de elementos.
- 4) **Resta segundos:** Aquí se realiza la resta de los segundos guardados en el tag menos los segundos trabajados.

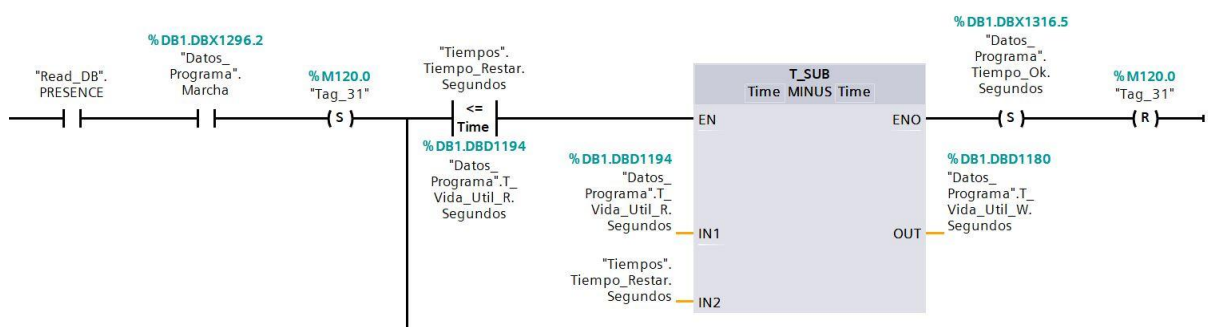


Figura 39 Resta segundos

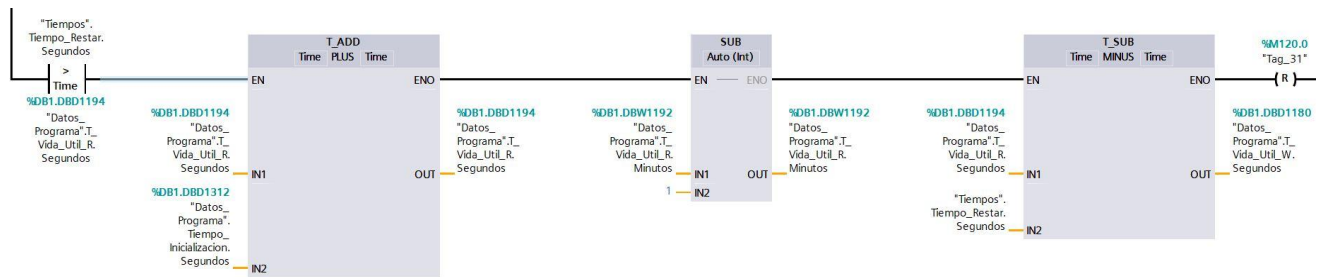


Figura 40 Resta segundos resto de segmento

5) **Resta minutos:** horas, días, meses y años: Similar a Resta segundos pero con el resto de unidades.

- Gestión de datos:

En este punto se muestra la programación para la obtención de datos del tag, y la escritura en el mismo del nuevo tiempo.

Al ser crítico escribir en las mismas direcciones de memoria del tag, se usan bloques de programación MOVE_BLK_VARIANT con el objetivo de poder desplazar un array de bytes de un tamaño determinado, en este caso de 10 elementos, en un índice de destino.

Si se observa en la Figura. 41 se puede apreciar en el segundo y tercer segmento como se solicita que 10 elementos a partir del índice 0 del array "ID_W" sean transferido a la variable "write" a partir del índice 4, ya que del 0 al 3 se mueve el tiempo de vida útil que se encuentra en el primer segmento de programación.

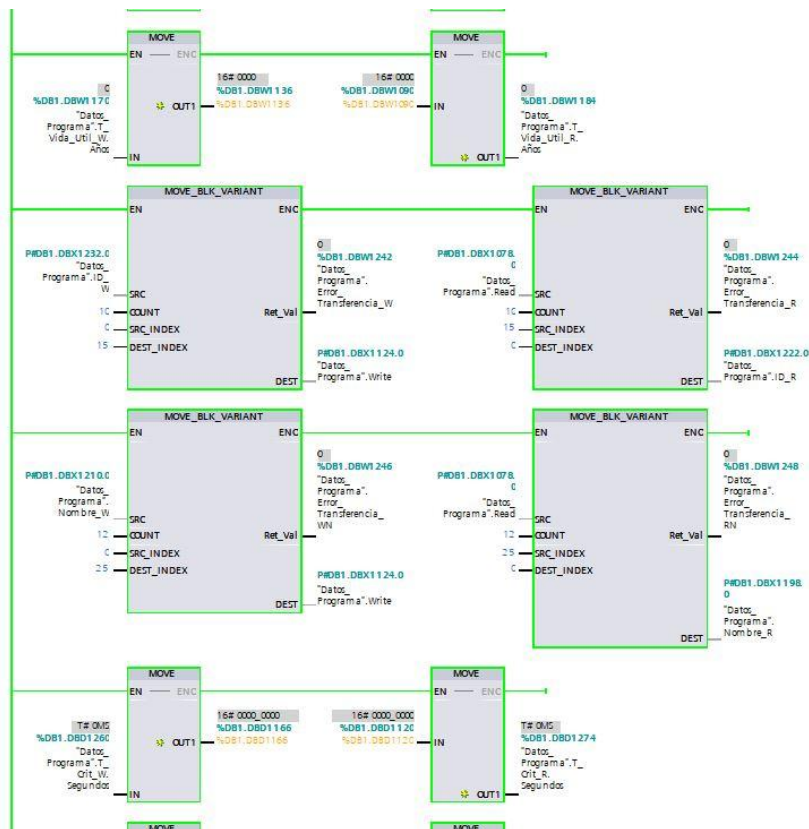


Figura 41 Gestión de información

El motivo del porque existen 2 bloques por segmento es porque un bloque se encarga de la escritura de información en el tag y el otro se encarga de obtener la información del tag y almacenarla en un array para poder ser tratada en el programa.

Este intercambio de información recibe sus órdenes de ejecución según las órdenes que recibe de la lógica mostrada a continuación:

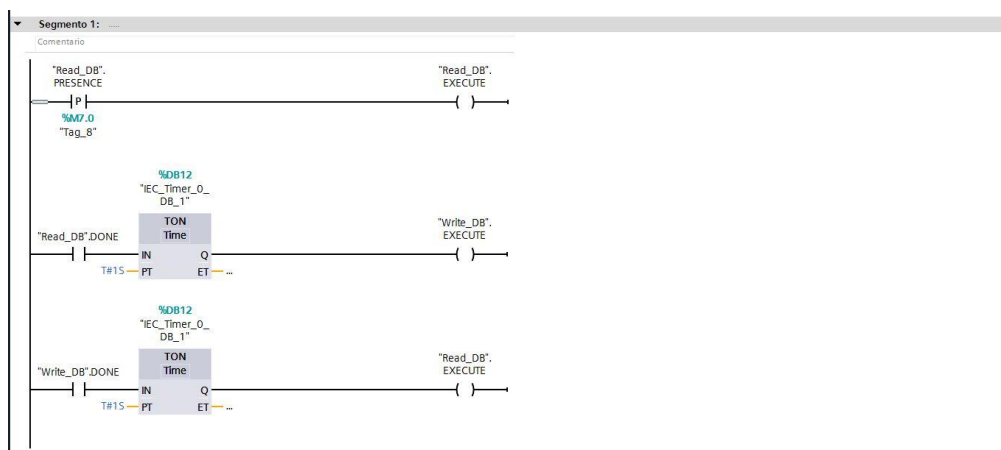


Figura 42 Órdenes de escritura y lectura

Como se puede deducir de la imagen anterior, aquí lo que se puede observar es cuando se dan las órdenes de lectura y escritura en el tag, con temporizadores de

habilitación de por medio para poder garantizar un tiempo intermedio antes de dar la orden, ya que si se ejecutan estos comandos simultáneamente sin unos 300ms entre el comando “Read_DB”.DONE y “Write_DB”.EXECUTE, se puede generar un error por solapar instrucciones.

- Gestión de alarmas:

Como el objetivo del proyecto es la supervisión de herramientas, es necesario tener un medio que avise al usuario si la herramienta está cercana a finalizar su ciclo de vida o si ya ha finalizado, con la finalidad de que se puedan planear mantenimientos preventivos, cambios de herramientas evitando algún mal funcionamiento en la instalación, etc.

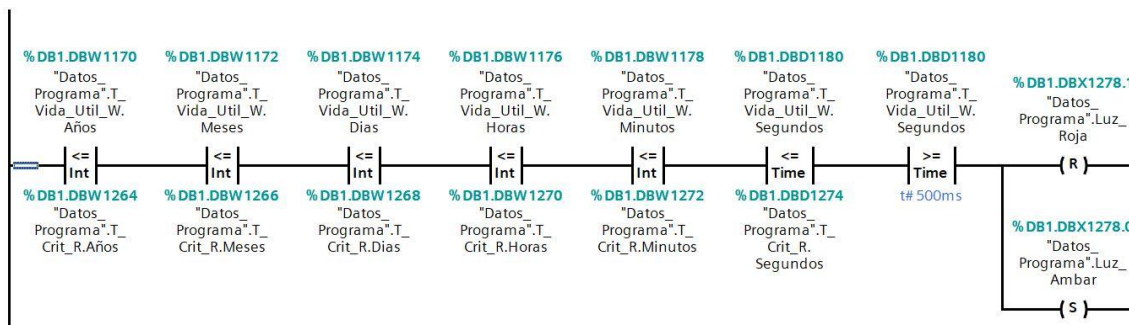


Figura 43 Condición aviso tiempo crítico alcanzado

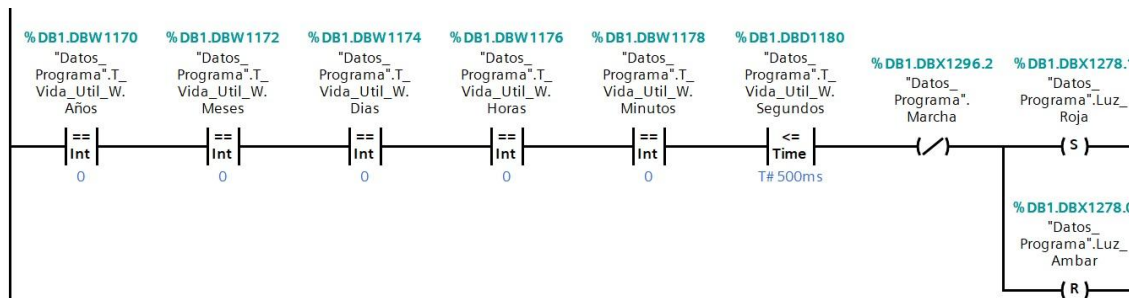


Figura 44 Condición tiempo de vida útil agotado

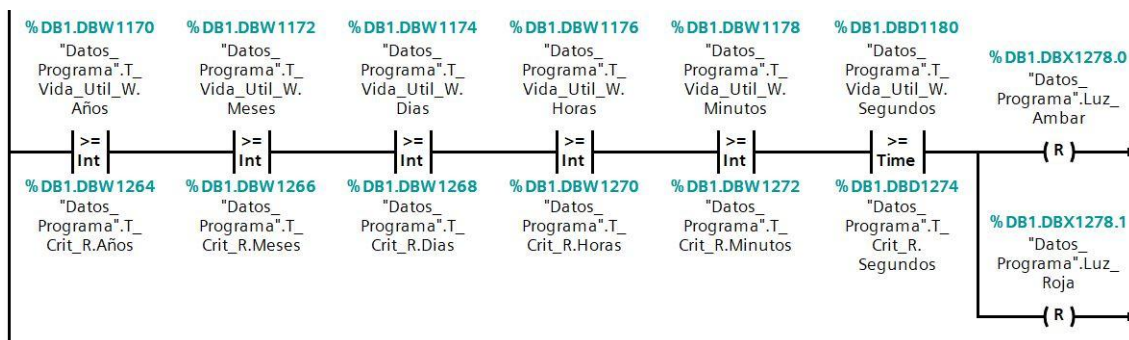


Figura 45 Condición de trabajo normal

Como se puede apreciar en las Figuras. 43, 44 y 45, se han creado tres segmentos dentro del FB “Alarma” el cual se llama como se muestra en la Figura 36, donde en el primer segmento se crean un conjunto de 5 comparadores tipo INT y uno tipo TIME para las variables dentro de la estructuras de tiempo. Aquí se compara el tiempo de vida útil con el tiempo de referencia que haya asignado el usuario a cada

herramienta dentro del tag. Este tiempo de referencia podría ser por ejemplo, el tiempo que necesitas de anticipación para empezar a organizar la operación pertinente para cuando este por acabar la utilidad de la herramienta.

El segundo segmento realiza una comparación el tiempo útil de la herramienta y 0s. Una vez se ha finalizado por completo el tiempo de trabajo de la herramienta se encenderá una bombilla roja indicando que la herramienta no se puede seguir utilizando, y por consecuencia se quita la orden de marcha de la herramienta hasta que sea reemplazada por una que tenga tiempo de uso, o en caso de realizar algún ajuste para que la herramienta pueda funcionar más tiempo, modificar el tiempo útil en el tag. Esto último de arreglar la herramienta para ganar un poco más de tiempo no sería la opción más óptima ya que aumentaría igualmente el riesgo de paro de instalación o de accidente por el posible arreglo que se le haya hecho a la herramienta.

4) Configuración de la pantalla:

Se ha configurado un HMI WinCC Advanced donde se han configurado 4 pantallas con el objetivo de tener en diferentes ventanas. Una ventana es donde se puede escoger la herramienta desde una base de datos que en este caso se simula con una lista creada mediante un Data Block y verificar coincidencia de UID. Una segunda ventana de control donde se puede dar marcha, consigna de velocidad y acuse de fallos del variador de frecuencia (Equipo de prueba para este proyecto) además de visualizar el estado del proceso. Por último se ha creado una ventana de tiempos, donde se puede visualizar en tiempo real el tiempo que se le va a escribir al tag, el tiempo que se le está restando y el tiempo crítico a partir del cual aparecerá un aviso.

Para facilitar el movimiento entre ventanas se ha creado un “Template” o plantilla que se ha colocado como base de cada ventana donde se ha definido el fondo de cada ventana y dos botones, uno para volver a la pantalla de inicio y otro para detener la ejecución de la simulación de la pantalla.

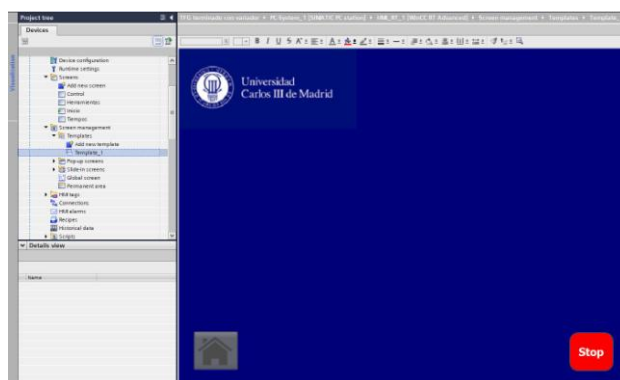


Figura 46 Plantilla

En esta plantilla se pueden observar un icono en la esquina inferior izquierda que como función al pulsarlo abre la pantalla principal.

En la esquina inferior derecha se aprecia el botón “STOP” que sirve para detener la ejecución de la pantalla.

Las pantallas son:

- 4.1) **Inicio:** Pantalla donde se selecciona la ventana a visualizar para realizar alguna acción determinada:



Figura 47 Ventana de inicio

En esta pantalla se aprecian los botones:

- **Control:** Al pulsarlo te lleva a la pantalla de control de la herramienta.
- **Herramientas:** Lleva al usuario a la pantalla donde se tendrá un menú con las herramientas disponibles a utilizar.
- **Tiempos:** Lleva al usuario a la pantalla donde se puede tener un control básico de la herramienta y visualizar todos los tiempos del proceso.

- 4.2) **Herramientas:** ventana donde se encuentra un desplegable para seleccionar la herramienta que se va a implementar en el trabajo a desempeñar, al mismo tiempo tienes la información del tiempo de vida útil que lee la antena del transpondedor y abajo 3 avisos; uno para saber si el tiempo de vida útil está por debajo del tiempo crítico, otro para saber si se ha agotado el tiempo de vida útil a la herramienta y por último aviso que indica si la UID del tag leído coincide con la UID que debe tener la herramienta seleccionada:



Figura 48 Ventana de herramientas

En esta pantalla se encuentran:

- **Herramienta:** en este campo se selecciona la herramienta que se va a utilizar.
- **Tiempo de Vida Útil:** en este campo se visualiza el tiempo de vida útil de la herramienta seleccionada.
- **T por agotarse:** cuando cambia de color indica que el tiempo de vida útil se encuentra por debajo del tiempo crítico definido.
- **T Agotado:** al cambiar de color indica que el tiempo de vida útil de la herramienta se ha agotado.
- **Coincidencia UID:** al cambiar a color verde indica que la UID de la herramienta coincide con la UID almacenada en la base de datos.

4.3) Control: Ventana desde donde se realiza el control de la herramienta, en este caso adaptada a un variador de frecuencia, donde se tiene por un lado el control básico del mismo con un botón de marcha paro, ventana para introducir la consigna de velocidad y otro botón para acuse fallos.

Por otro lado se tiene un cuadro de estado del variador/sistema donde se puede observar si el eje está habilitado, en fallo, en qué estado se encuentra el tiempo de vida útil y si el paro de emergencia STO se ha llevado a cabo o no.



Figura 49 Ventana de control y estado

En esta pantalla se encuentran:

- **Control:**
 - **Marcha:** botón que al pulsar da marcha a la herramienta.
 - **Velocidad:** al tratarse de un variador de frecuencia se da la velocidad en rpm a la que se desea que gire el motor.
 - **Acuse:** Levanta y confirma fallos en el variador de frecuencia.

- **Estado:**
 - **Eje habilitado:** el motor está en movimiento.
 - **Fallo:** fallo presente en el drive.
 - **Aviso T Util:** aviso de que se ha alcanzado el tiempo crítico.
 - **Tiempo Util:** aviso de que se ha terminado el tiempo de vida útil.
 - **Estado STO:** Indica si se ha activado la función de seguridad STO.
- **Reset Reader:** al pulsar se reinicia/inicializa el lector.

4.4) Tiempos: esta ventana se creó con el propósito de tener una mayor visión de lo que ocurre en tiempo real sobre la herramienta, de modo que por un lado se le puede dar marcha, consigna de velocidad y acuse de fallos. Por otro lado se puede ver el estado de la operación y por último una visual del tiempo que se va a escribir en el tag, el tiempo crítico del mismo y el tiempo que se va a restar al tiempo de vida útil.

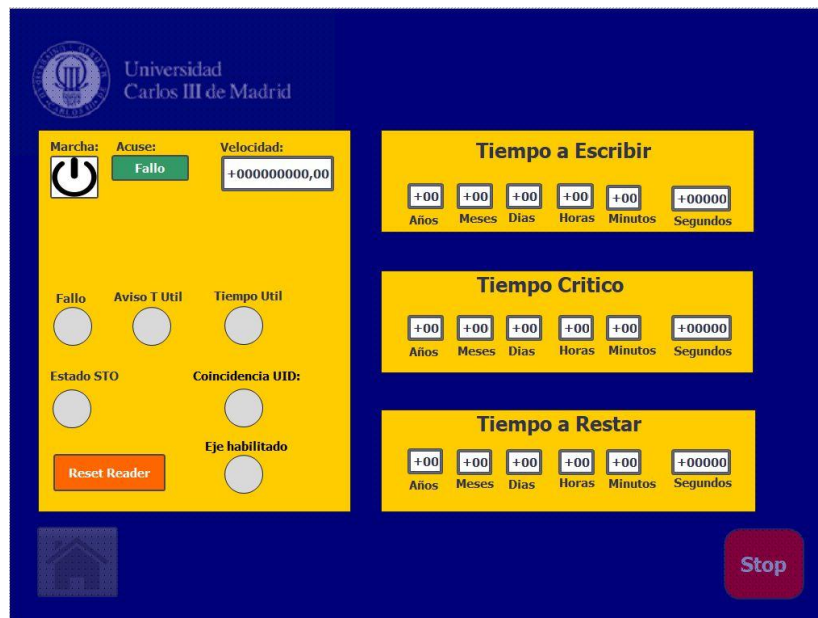


Figura 50 Ventana de tiempos

En esta pantalla, la diferencia con las anteriores son:

- **Tiempo a escribir:** muestra en tiempo real el tiempo de vida útil que queda tras restar el tiempo de uso. Este tiempo es el que se escribirá en el tag.
- **Tiempo crítico:** muestra el tiempo a partir del cual se mostrará el aviso de próxima culminación del tiempo de vida útil.
- **Tiempo a restar:** tiempo de uso que se resta el tiempo de vida útil actual mientras se utilice la herramienta.

5) Test de funcionamiento mediante tablas de observación y forzado:

Para la realización de pruebas de funcionamiento y supervisión de variables, TIA Portal, software utilizado para la programación de este sistema, una vez se finalice la fase de desarrollo, permite la creación de Tablas de observación y/o forzado, la cual permite crear una lista de variables utilizadas en el programa, bien sea para la supervisión mediante lectura o para forzar la escritura de variables para ver el comportamiento del sistema.

En este caso se han realizado 3 tablas de observación y forzado:

1) Tabla de observación y forzado de lectura y escritura de tags:

Como se aprecia en la Figura. 51, se puede ver un conjunto de variables que corresponden a la orden de escritura del RFID, los caracteres a escribir para el ID con un longitud de hasta 10 caracteres, caracteres para el nombre de la herramienta, y por último el tiempo de vida útil y el tiempo crítico para que se muestre el aviso con luz ámbar de que queda poco para que finalice el ciclo de vida de la herramienta.

En la tercera columna permite seleccionar el formato de visualización de las variables, donde en el caso del ID se ha dejado en hexadecimal, el nombre en carácter para visualizar las letras y en el de tiempo como tiempo.

Más abajo se creó un conjunto de variables que son para supervisar el estado del sistema, donde se puede forzar la orden de marcha, ver el tiempo de uso, si se ha detectado presencia, si el reader presenta fallo y en qué estado se encuentra, etc.

				16#00	<input type="checkbox"/>	
"Read_DB".EXECUTE		BOOL		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Write_DB".EXECUTE		BOOL		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W	%DB1.DBD1146	Tiempo		T#10M	<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R	%DB1.DBD1150	Tiempo			<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".T_Crit_R	%DB1.DBD1210	Tiempo			<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[1]	%DB1.DBB1154	Carácter		'T'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[2]	%DB1.DBB1155	Carácter		'A'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[3]	%DB1.DBB1156	Carácter		'L'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[4]	%DB1.DBB1157	Carácter		'A'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[5]	%DB1.DBB1158	Carácter		'D'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[6]	%DB1.DBB1159	Carácter		'R'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[7]	%DB1.DBB1160	Carácter		'O'	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[8]	%DB1.DBB1161	Carácter		''	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[9]	%DB1.DBB1162	Carácter		''	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[10]	%DB1.DBB1163	Carácter		''	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[11]	%DB1.DBB1164	Carácter		''	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Nombre_R[12]	%DB1.DBB1165	Carácter		''	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Tiempos".ON/OFF		BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	
"Tiempos".Tiempo_Restante		Tiempo			<input type="checkbox"/>	
"Tiempos".Tiempo_uso		Tiempo			<input type="checkbox"/>	
"Read_DB".PRESENCE		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Write_DB".DONE		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Read_DB".DONE		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Reset_Reader_DB".DONE		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Read_DB".ERROR		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Write_DB".ERROR		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Luz_Roja	%DB1.DBX1214.1	BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".Luz_Ambar	%DB1.DBX1214.0	BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Tiempos".Reset		BOOL			<input type="checkbox"/>	
"Datos_Programa".T_Crit_R	%DB1.DBD1210	Tiempo			<input type="checkbox"/>	

Figura 51 Tabla de observación para escritura

2) Tabla de observación y forzado para realización de pruebas:

En esta tabla se han colocado las variables más importantes para visualizar el comportamiento del sistema de supervisión de herramientas.

En la misma se puede supervisar si las ordenes de escritura y lectura se están ejecutando correctamente, se visualiza el tiempo de vida útil leído en el tag y el tiempo crítico almacenado en el mismo, aparecen el nombre de la herramienta, la variable para dar orden de marcha, ver el tiempo restando de vida y el tiempo que se ha utilizado, conjunto de variables para visualizar el estado del RFID y por último el estado de la herramienta en cuanto al tiempo de vida útil restante.

// Inicialización			
"Reset_Reader_DB".EXECUTE		Bool	
// Marcha			
"Datos_Programa".Marcha	%DB1.DBX1296.2	Bool	
"Variador".Control.Consigna		Floating-poin...	
// Tiempos			
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Años	%DB1.DBW1184	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Meses	%DB1.DBW1186	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Dias	%DB1.DBW1188	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Horas	%DB1.DBW1190	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Minutos	%DB1.DBW1192	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Segundos	%DB1.DBD1194	Tíme	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Segundo	%DB1.DBD1180	Tíme	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Años	%DB1.DBW1170	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Meses	%DB1.DBW1172	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Dias	%DB1.DBW1174	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Horas	%DB1.DBW1176	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Minutos	%DB1.DBW1178	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Vida_Util_W.Segundo	%DB1.DBD1180	Tíme	
"Datos_Programa".Luz_Ambar	%DB1.DBX1278.0	Bool	
"Datos_Programa".Luz_Roja	%DB1.DBX1278.1	Bool	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Años	%DB1.DBW1264	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Meses	%DB1.DBW1266	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Dias	%DB1.DBW1268	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Horas	%DB1.DBW1270	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Minutos	%DB1.DBW1272	DEC+/-	
"Datos_Programa".T_Crit_R.Segundos	%DB1.DBD1274	Tíme	
"Tiempos".Tiempo_uso.Años		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_uso.Meses		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_uso.Dias		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_uso.Horas		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_uso.Minutos		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_uso.Segundos		Tíme	
"Tiempos".Tiempo_Restar.Años		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_Restar.Meses		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_Restar.Dias		DEC+/-	
"Tiempos".Tiempo_Restar.Horas		DEC+/-	

Figura 52 Tabla de observación y forzado de pruebas

De esta manera se puede verificar que el sistema funcione correctamente antes de implementarlo, obteniendo como resultado una disminución de errores a la hora de instalar el sistema para su funcionamiento real en planta.

5. PRUEBA DE VALIDACIÓN Y RESULTADO DEL EXPERIMENTO

5.1. Secuencia de pruebas:

- 1) Se creó proyecto en TIA Portal
- 2) Se agregaron todos los elementos de la red PROFINET (Variador de frecuencia, modulo de comunicaciones, Lector RFID, y simulador de HMI).
- 3) Se configuró módulo de comunicaciones RF120C
- 4) Se creó el programa de supervisión de herramientas en tu totalidad
- 5) Se probaron funciones RFID y que el sistema cumpla con funciones de cuenta, avisos y detención de ejecución de forma manual con 3 tags diferentes
- 6) Una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema de supervisión se configura el variador de frecuencia con función de control de velocidad simple.
- 7) Se configura función de safety STO vía PROFIsafe entre el autómatas y el variador de frecuencia
- 8) Se prueba el conjunto PLC, variador y PROFIsafe nuevamente y corrobora el correcto funcionamiento
- 9) Se configura simulador de HMI
- 10) Se crea plantilla y 4 pantallas para supervisión y control del sistema
- 11) Se prueba todo el sistema nuevamente gestionando todas las ordenes y contaje desde la pantalla simulada y se comprueba el correcto funcionamiento

5.2. Desarrollo de prueba:

Para simular el funcionamiento de la aplicación se procedió a agregar al sistema un variador de frecuencia Sinamics G120, con CU240E-2 PN F, PM340 de 0,12kW y motor de placa de características:

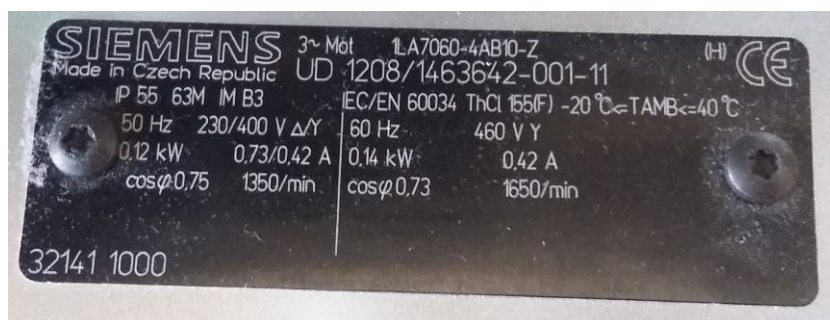


Figura 53 Placa de motor



Figura 54 Motor de inducción

Con el variador agregado al sistema, la prueba consistió en grabar en un tag la información del variador (Nombre, ID y tiempo de vida útil a conveniencia de la prueba).

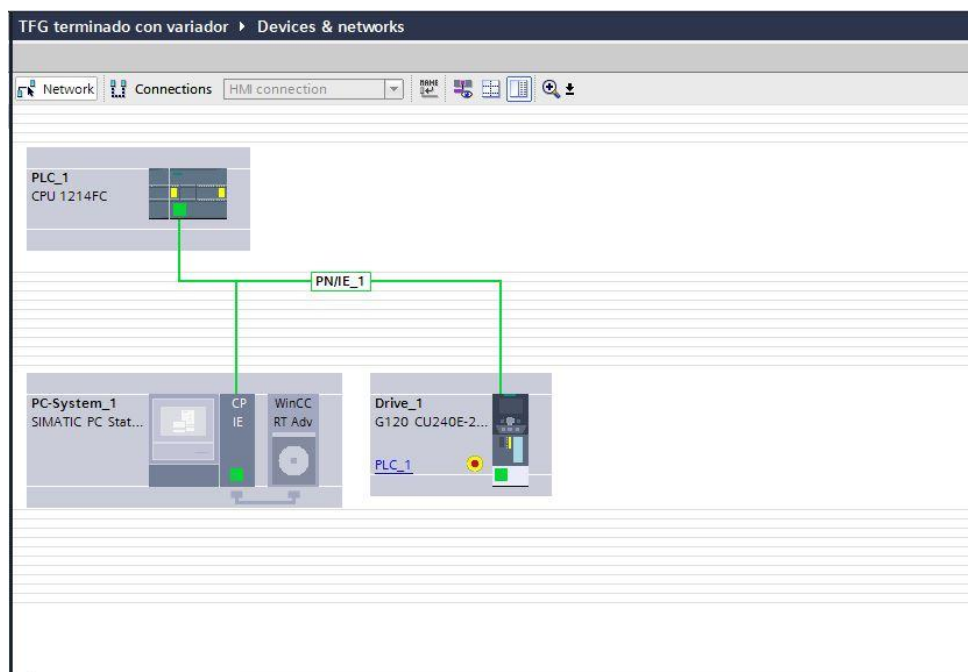


Figura 55 Vista de red

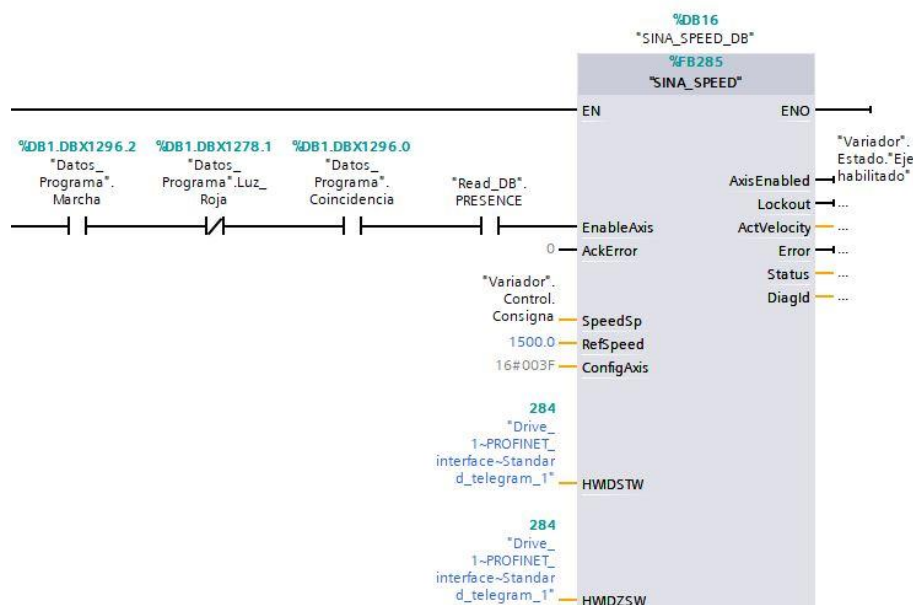


Figura 56 Bloque para control de velocidad del variador de frecuencia

Para que el variador pueda recibir la orden de marcha se revisa que se cumplan condiciones previas:

- **“Datos_Programa”.Marcha:** variable booleana que da orden de marcha al variador. ‘1’ = Dar marcha; ‘0’ = No dar marcha.
- **“Datos_Programa”.Luz_Rojo:** variable booleana que indica si el tiempo útil de la herramienta se ha agotado o no. ‘1’ = No dar marcha; ‘0’ = Dar marcha.
- **“Datos_Programa”.Coincidencia:** variable booleana que indica si la UID de la herramienta coincide con la de la base de datos. ‘1’ = Dar marcha; ‘0’ = No dar marcha.
- **“Read_DB”.PRESENCE:** indica si el lector detecta presencia o no. ‘1’ = Dar marcha; ‘0’ = No dar marcha.

Si todas las condiciones para “Dar marcha” se cumplen, entonces la herramienta podrá funcionar. En caso contrario si una sola condición no se cumple, no será posible utilizar la herramienta.

Al grabar la información en el tag, y colocar el mismo en la antena nuevamente transmitió toda la información almacenada correctamente, como se observan en las tablas 1 y 2. Una vez se le ha dado orden de marcha el motor ha empezado a girar mientras el programa descontaba tiempo del tag. Cuando la antena no detectó el tag, el sistema quitó la orden de marcha del variador parando el motor hasta que se volvió a detectar presencia.

<p>Tabla 1. Lectura nombre herramienta</p> <p>LECTURA DE NOMBRE. MUESTRA DEL CAMBIO DE NOMBRE DE HERRAMIENTA AL DETECTAR PRESENCIA.</p>			
Nombre	Dirección	Formato	Valor de observación
"Datos_Programa".Nombre_R[1]	%DB1.DBB1154	Carácter	'P'
"Datos_Programa".Nombre_R[2]	%DB1.DBB1155	Carácter	'T'
"Datos_Programa".Nombre_R[3]	%DB1.DBB1156	Carácter	'N'
"Datos_Programa".Nombre_R[4]	%DB1.DBB1157	Carácter	'Z'
"Datos_Programa".Nombre_R[5]	%DB1.DBB1158	Carácter	'A'
"Datos_Programa".Nombre_R[6]	%DB1.DBB1159	Carácter	' '
Después de Lectura:			
"Datos_Programa".Nombre_R[1]	%DB1.DBB1154	Carácter	'G'
"Datos_Programa".Nombre_R[2]	%DB1.DBB1155	Carácter	'I'
"Datos_Programa".Nombre_R[3]	%DB1.DBB1156	Carácter	'2'
"Datos_Programa".Nombre_R[4]	%DB1.DBB1157	Carácter	'O'
"Datos_Programa".Nombre_R[5]	%DB1.DBB1158	Carácter	'E'
"Datos_Programa".Nombre_R[6]	%DB1.DBB1159	Carácter	'.'
"Datos_Programa".Nombre_R[7]	%DB1.DBB1160	Carácter	'2'
"Datos_Programa".Nombre_R[8]	%DB1.DBB1161	Carácter	'P'
"Datos_Programa".Nombre_R[9]	%DB1.DBB1162	Carácter	'N'

<p>Tabla 2. Lectura tiempo de vida útil de la herramienta</p> <p>LECTURA TIEMPO DE VIDA ÚTIL. MUESTRA DE ACTUALIZACIÓN DE TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA AL DETECTAR PRESENCIA.</p>			
Nombre	Dirección	Formato	Valor de observación
"Read_DB".PRESENCE		Bool	FALSE
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Años	%DB1.DBW1184	DEC +/-	0
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Meses	%DB1.DBW1186	DEC +/-	0
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Dias	%DB1.DBW1188	DEC +/-	0
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Horas	%DB1.DBW1190	DEC +/-	0
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Minutos	%DB1.DBW1192	DEC +/-	0
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Segundos	%DB1.DBW1194	DEC +/-	T#0MS
Después de Lectura:			
"Read_DB".PRESENCE		Bool	TRUE
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Años	%DB1.DBW1184	DEC +/-	2
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Meses	%DB1.DBW1186	DEC +/-	3
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Dias	%DB1.DBW1188	DEC +/-	4
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Horas	%DB1.DBW1190	DEC +/-	4
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Minutos	%DB1.DBW1192	DEC +/-	3
"Datos_Programa".T_Vida_Util_R.Segundos	%DB1.DBW1194	DEC +/-	T#2S_598MS

Por último, antes de poder dar marcha al motor se verifica si coincide la UID del tag real con la UID que se ha guardado en la base de datos de herramientas, si la misma no coincide el equipo no podrá recibir orden de marcha.

Ya con la información leída del tag se procede a dar marcha al motor. En las siguientes imágenes se puede apreciar como la condición de detectar presencia es imprescindible ya que en la imagen de la izquierda se puede ver como detectando presencia y teniendo marcha el eje está habilitado y al no detectar presencia se deshabilita el eje.

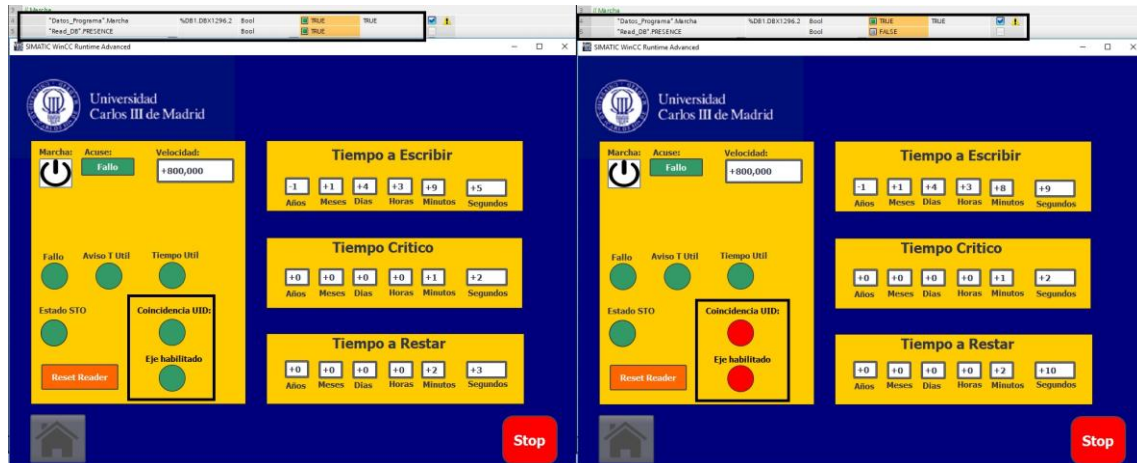


Figura 57 Falta de presencia

Una vez transcurrido el tiempo útil hasta alcanzar el 0, la orden de marcha se deshabilitó automáticamente, parando el motor y sin permitir que se pudiese mover el mismo hasta que se renovaron los tiempos del tag. En la siguiente imagen se ve como ocurre esto. Al observar en la columna “Valor de forzado” en la fila correspondiente a “Tiempos”.ON/OFF, como se trata de forzar a TRUE e igualmente permanece en FALSE debido a que se ha alcanzado el tiempo de vida útil.



Figura 58 Avisos de finalización de tiempo de vida útil

5.3. Resultados

Los resultados obtenidos por la aplicación han sido satisfactorios. Se comprobó la supervisión de la herramienta en tiempo real donde el único posible “error” detectado es un desfase de 300ms aproximadamente lo cual coincide con el tiempo de ciclo de programa de la CPU.

Al implementar esta configuración se demuestra que no es necesaria la intervención de un operario para hacer la supervisión de las tareas de la herramienta ya que desde el punto de vista de tiempo de vida útil, y del sistema RFID se ha configurado para que la lectura, detección de presencia y escritura de tags fuese de forma automática. Por otro lado los tiempos se gestionan únicamente en el momento que se detecta que la herramienta está presente y tiene orden de ejecución dada, logrando así que ningún operario tenga que revisar si la herramienta está en posición o preocuparse de que se ejecute alguna acción sin estar la herramienta presente.

También se ha demostrado que se puede utilizar el código interno de cada tag UID como requerimiento de compatibilidad para poder tener constancia que la herramienta a implementar es la correcta y no una herramienta igual físicamente pero que no se tenía planificado darle uso y poder controlar mejor las existencias de inventario.

Por último pero no menos importante, se ha verificado la compatibilidad y actuación de funciones de seguridad transmitidas vía PROFIsafe al ver en la Figura. 60 que al transcurrir el tiempo útil el STO entra para parar el motor y levantando la marcha.

6. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en la fase experimental se concluye que la supervisión de herramientas se puede realizar de manera automática con el control implementado, logrando así que no sea necesario la intervención de mano de obra humana para la actualización de tiempos de vida útil, para realizar el paro de emergencia y el procesamiento y actualización de datos se realiza en tiempo real sin necesidad de que un operario supervise esta tarea, obteniendo un sistema totalmente digitalizado lo cual cumpliría con una de las principales características en la cuarta revolución industrial.

Profundizando en la práctica, se aprecia como la cuenta de tiempo se realiza de manera precisa, donde el error máximo que se puede tener no supera al de un ciclo de la CPU, es decir, 300ms. Con esto se eliminan los errores que surgían anteriormente al descontar el tiempo de vida útil de la herramienta por jornadas laborales, y no por tiempo de uso real.

En cuanto a nivel de sistema, se demostró cómo es posible la interoperabilidad de componentes bajo una misma plataforma TIA Portal, centralizando todo el sistema en un mismo entorno y siendo controlado por un mismo dispositivo, eliminando errores que se puedan producir al involucrar más hardware o la comunicación entre dos plataformas distintas.

Por otro lado se ha visto que es una aplicación versátil ya que no está limitada por fabricantes al tener la información almacenada en un tag que puede ir en herramientas/máquinas de terceros. También permite la ampliación o diferenciación de distintos métodos de supervisión partiendo de la misma base, lo cual se explicará más adelante.

También se concluye que la implementación del RFID permite versatilidad en los sistemas de supervisión ya que permite la adaptación del programa a las necesidades de la fábrica, no obliga al programador a seguir un estándar definido más allá del que establezca la empresa. Además de la adaptabilidad a las necesidades de la fábrica, permite también adaptarse a diversos protocolos de comunicación, bien sea de forma directa o con ayuda de pasarelas de comunicación, lo cual permite hacer instalaciones más complejas si se quiere una supervisión global de todas las herramientas de cada fábrica de una multinacional, como si se quiere realizar el seguimiento de instrumentos en un taller.

Por último se concluye que gracias al uso de antenas externas es posible alcanzar posiciones de colocación de la misma sobre la herramienta poco invasivas, al poder contar con dimensiones del orden de 1cm de diámetro y cables con un grosor no superior a los 5mm de diámetro.

6.1. Otras aplicaciones

En esta sección se expondrán distintas aplicaciones que podrían derivar del diseño final tratado en esta memoria, así como distintos diseños tanto a nivel funcional como de hardware con los que se podría bien agregar funcionalidades al sistema planteado, o modificarlo para adaptarlo a alguna función concreta.

6.1.1. Supervisión mediante UHF:

Es una opción, que como se comentó capítulos atrás, puede beneficiar al tener un sistema más determinístico y centralizado en un solo tipo de RFID para realizar la tarea de supervisión, además de la de trazabilidad y gestión de inventarios.

Uno de los mayores “inconvenientes” de esta instalación sería el amplio radio de lectura que poseen estos equipos, sin embargo existe la posibilidad de programarles un filtro EPC de modo de que solo estén capacitados de detectar el tag que posea el mismo EPC, de esta manera podrías supervisar el trabajo de una herramienta en un entorno repleto de tags y solo se haría foco en la EPC del tag puesto en la herramienta.

Otro inconveniente puede ser el solapamiento de campos magnéticos de 2 o más antenas que se encuentren trabajando cerca, por lo que habría que tomar medidas al respecto utilizando láminas metálicas por ejemplo, situar los robots en lugares estratégicos para este fin o regular la potencia de emisión del campo electromagnético para disminuir su campo de acción.

6.1.2. Seguridad y logística:

Aprovechando los tags que tendrían las herramientas, se pueden utilizar para la realización de un inventario en el momento de entrada del material a la empresa, independientemente de si es un sistema UHF o HF, teniendo en cuenta las condiciones que implica utilizar un sistema u otro en cuanto a la distancia de lectura y la velocidad con la que se puede registrar el material.

Para realizar un inventario lo más común y rápido es utilizar un sistema UHF pero esto no impide que se pueda realizar con uno HF. Con esto lo que se busca es aprovechar este sistema para también incluirlo en la supervisión de herramientas.

De este modo con tener un tag por producto puede inventariar, saber el stock que se tiene, ubicación, características y adicionalmente el estado de la herramienta.

6.1.3. Geolocalización:

Actualmente se estudia la posibilidad de saber la posición de un objeto, persona, entre otros mediante la implementación de sistemas RFID.

Este objetivo se ha buscado realizando distintos experimentos pero el punto que tienen todos en común es el uso de más de una antena y utilizar como variable significativa la intensidad del campo magnético de modo que se puedan interpolar las

lecturas de las antenas, procesar la información y en función de esto obtener la localización deseada.

En el paper “Mapping and Localization with RFID Technology”, se habla de experimentos realizados con un pequeño robot que se desplaza con dos antenas inclinadas 45° para captar el campo magnético que reciben tanto por izquierda como por derecha, y en función de la intensidad de campo que se recibe en cada antena se procesa esta información aplicando diversas técnicas hasta obtener una posición bastante precisa y en tiempo real [33].

6.1.4. Obtención de Big Data:

En el caso de tener varias fábricas y querer saber el estado en el que se encuentra cada una de sus herramientas, tiempo de vida restante, existencias, etc, se pueden implementar protocolos de comunicación como los descritos anteriormente (OPC UA, PROFINET), con los cuales se permite realizar distintas topologías de red, redundancia y principalmente en relación a esta memoria, el envío de datos a un servidor aguas arriba, donde estos se almacenen en el mismo para su gestión a nivel de gestión empresarial.

Aprovechando los datos que se pueden almacenar en un tag, la cantidad de información que se puede gestionar incluso a nivel de todos los activos de la empresa es muy amplia, permitiendo tener un panorama casi completo de todas las tareas que se realizan en cada fábrica, existencias que se tienen, tiempo de vida de las herramientas, etc.

En concreto al implementar protocolo OPC UA permite la integración de distintos fabricantes en mismo proyecto software, lo cual aumenta más aun la facilidad de poder tratar la información, y controlar distintas máquinas sin la necesidad de una mayor inversión en distintos software de desarrollo y reducción de tiempo en know-how que se tendría que adquirir para las distintas plataformas.

7. PRESUPUESTO

Tipo de Coste	Concepto	Horas	€/h	Total (€)
Personal	Ingeniero Junior	250	30	7500
	Horas de supervisor de ingeniería	30	50	1500
Material	SIMATIC STEP 7 Prof. V15			2.606,25
	SIMATIC S7, F-programming tool, STEP 7 Safety Advanced V15			857,50
	SINAMICS Startdrive Advanced V15			468,65
	6SL3072-4FA02-0XG5			
	SIMATIC WinCC Advanced V15, Engineering software in TIA Portal			2.182,03
	RFID communication module RF120C			354,96
	SIMATIC S7-1200F, CPU 1214 FC, compact CPU, DC/DC/DC, onboard			674,56
	SIMATIC RF300 reader RF350R (RF300+ISO) with RS422 interface			696,15
	RF300/RF200/MOBY E antenna ANT 12 with trailing antenna wire			366,98
	Cable conf. RS422, Sub-D/M12, 2 m			63,47
	Industrial Ethernet TP Cord RJ45/RJ45, TP cord Pre-assembled with 2 RJ45 connector, Length 2 m			16,63

SINAMICS G120 CU240E-2 PN-F Control Unit E-type 6SL3244-0BB13-1FA0	547,00
SINAMICS Power Module PM240-2 unfiltered with integrated braking chopper 200-240 V 1/3AC	362,00
Equipo informático: SIMATIC Field PG M5 Comfort; I5-6440EQ (2.7 to 3.4 GHz; 4 kernels, 6 m SMART cache); 15.6" display; Full HD (1920x 1080); WLAN 802.11AC & Bluetooth V4.0; DVD +/-RW; HD graphic 530 1x 16 GB DDR4 SD-RAM SO- DIMM 512 GB SSD SATA (2.5").	5.500,00
3xMDS D421 B	3x50,70
Total	23.848,28

8. BIBLIOGRAFIA

[1] Min Xu¹, Jeanne M. David² & Suk Hi Kim (2018), “The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges”, International Journal of Financial Research Vol. 9, No. 2.

[2] Weber Barbara (18 de Diciembre de 2018), “OPC UA and PROFINET are the ideal combination for Industry 4.0”.

[3] Mert Onuralp Gökalp, Kerem Kayabay, Mehmet Ali Akyol, P. Erhan Eren, Altan Koçy (2016), “Big Data for Industry 4.0: A Conceptual Framework”, Process Industry Informer.

[4] Laurent Probst, Laurent Frideres & Bertrand Pedersen (Febrero 2015), “Traceability across the Value Chain Advanced tracking systems”, PwC Luxembourg European Union.

[5] Rojko Andreja (10 June 2017), “Industry 4.0 Concept: Background and Overview”, ECPE European Center for Power Electronics e.V., Nuremberg, Germany.

[6] Suzanne H. Plimpton (2010), “Cyber-Physical Systems (CPS)”, National Science Foundation Arlington, VA.

[7] Marilín Gonzalo (2013), “Los datos masivos (o big data) son el nuevo oro”, Madrid. Disponible en:

https://www.eldiario.es/turing/Big-data_0_161334397.html

[8] Casas Schmitt, Guillem, 2015. Automatización de un proceso para identificación y control de elementos hospitalarios en zonas de paso [en línea]. Trabajo de fin de grado. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña [Consulta: Enero de 2019]. Disponible en:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81764/0_VOLUMEN_COMPLETO.pdf

[9] Lampe Matthias y Strassner Martin, *The Potential of RFID for Moveable Asset Management* [en línea]. Zurich: Institute of Technology Management University of St. Gallen [Consulta: Febrero 2019]. Disponible en: https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE000285.pdf

[10] ECOM instruments, 2019. Mantenimiento preventivo con soluciones móviles en el área Ex. En: *ECOM instruments* [en línea]. Disponible en: <https://www.globenewswire.com/news-release/2015/12/16/1236771/0/es/Mantenimiento-preventivo-con-soluciones-m%C3%B3viles-en-el-%C3%A1rea-Ex.html> [Consulta: Enero 2019]

[11] Siemens S.A. (2008), “SIMATIC PROFINET System Description System Manual”

[12] PROFIBUS Nutzerorganisation (2010), “PROFIsafe System Description Technology and Application”, Disponible en:

https://www.automation.com/pdf_articles/profinet/PROFIsafe_system_description_v_2010_English.pdf

[13] Siemens S.A. (2018), “Safety Integrated Function Manual for SINAMICS G110M, G120, G120C, G120D and SIMATIC ET 200pro FC-2”. Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109757227>

[14] OPC Foundation, “What is OPC”, Disponible en:

<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>

[15] [12] Wikipedia, “OPC”, Disponible en:

[https://es.wikipedia.org/wiki/OPC#Arquitectura_Unificada_OPC_\(OPC_UA\)](https://es.wikipedia.org/wiki/OPC#Arquitectura_Unificada_OPC_(OPC_UA))

[16] Olli Post, Jari Seppälä (2009), “THE PERFORMANCE OF OPC-UA SECURITY MODEL AT FIELD DEVICE LEVEL”, Tampere, Finland.

[17] ¿Cómo comenzó la tecnología RFID? 26 septiembre, 2017, Disponible en:

<http://trace-id.com/es/comenzo-la-tecnologia-rfid/>

[18] Bollaín Sánchez Manuel (2018), “Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso”, ISA, España.

[19] Hervás Lucas Ramón (2005), “TECNOLOGÍA y APLICACIONES de RFID”.

[20] Guizar Sepúlveda Enrique Arturo (2018), “Implementación de RFID en un almacén logístico”, Barcelona.

[21] Zamora Gonzalez Gerard (2013), “Radio Frequency Identification (RFID) Tags and Reader Antennas Based on Conjugate Matching and Metamaterial Concepts”, Bellaterra.

[22] Armstrong Shain (2013), “Types of Memory in RFID Tags”, Disponible en:
<https://blog.atlasrfidstore.com/types-of-memory-in-gen-2-uhf-rfid-tags>

[23] Fadul Camilo y Scott Cindy (2017), “Three elements of a modern HMI for improved operations”.

[24] “Comisión Electrotécnica Internacional”, Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Comisi%C3%B3n_Electrot%C3%A9cnica_Internacional#Estructura_interna

[25] “ISO/IEC 14443-3:2011”, Disponible en:
<https://www.iso.org/standard/50942.html>

[26] “ISO/IEC 15693-3:2019”, Disponible en:
<https://www.iso.org/standard/73602.html>

[27] ”UNE-EN 300330 V2.1.1 (Ratificada) ”, Disponible en :
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0057957>

[28] ”UNE-EN 301489-1 V2.1.1 (Ratificada) ”, Disponible en :
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0057961>

[29] ”FCC Part 15”, Disponible en :
<https://keystonecompliance.com/fcc-part-15/>

[30] “Documento BOE-A-1996-7800”, Disponible en:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1996-7800>

[31] “Documento BOE-A-2003-12099”, Disponible en:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-12099>

[32] “CE marking”, Disponible en:

https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en

[33] Dirk Hahnel Wolfram Burgard, Dieter Fox y Ken Fishkin Matthai Philipose (2004), “Mapping and Localization with RFID Technology”.

[34] Siemens S.A. (2017), “SIMATIC Ident RFID systems SIMATIC RF300 System Manual”, Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109749858>

[35] Siemens S.A. (2018), “SIMATIC Ident RFID systems SIMATIC RF120C Operating Instructions”, Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109761473>

[36] Siemens S.A. (2017), “SIMATIC STEP 7 Basic/Professional V15 and SIMATIC WinCC V15”, Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109764516>

[37] Siemens S.A. (2018), “SINAMICS G120 converters with CU240B-2 and CU240E-2 Control Units”, Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109757230>